



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ ZÁSOBOVÁNÍ AREÁLU TECHNICKÁ 2

ENERGY SUPPLY OF THE COMPLEX TECHNICKA 2

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Buráň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Petr Burán**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Energetické zásobování areálu Technická 2

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je zhodnotit přínos kogenerační jednotky a instalovaného fotovoltaického pole v energetickém hospodaření areálu Technická 2. Dále konkrétně posoudit možnosti dalšího rozvoje využití lokálních technologií produkce elektřiny a tepla.

Cíle diplomové práce:

1. Popis původního stavu.
2. Podrobné zhodnocení stavu po rekonstrukci budovy A1.
3. Rozbor spotřeby a produkce energií.
4. Návrh možných kroků pro budoucí rozvoj areálu a jejich technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

KAŇOVSKÝ, Jiří. 2015. Energetické systémy v moderní výstavbě: Zborník příspěvků z 2. medzinárodnej vedeckej konferencie Obnoviteľné zdroje energie 2011. 1. TU Bratislava, SK: Slovak University of Technology in Bratislava. ISBN 978-80-89402-39-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce s názvem „Energetické zásobování areálu Technická 2“ je rozdělena do více částí. Na začátku práce se seznámíme s pojmem kombinované výroby elektřiny a tepla a také s principem fotovoltaické výroby elektřiny. Na teoretickou část navážeme praktickým popisem areálu před a po rekonstrukci. Dále si rozebereme, jak byly rekonstrukcí ovlivněny spotřeby energií v areálu. Na závěr si provedeme návrhy instalace lokálních zdrojů elektřiny a tepla do areálu Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Jednotlivé návrhy si rozebereme z hlediska energetického i ekonomického.

Klíčová slova

Kogenerace, fotovoltaická elektrárna, elektřina, teplo, zdroj, energie

Abstract

The theme of this master thesis is „Energy supply to the site Technická 2“. This thesis is divided into several parts. First we will get in touch with concept of combined heat and power and also with principle of photovoltaic electricity production. We will continue with description of site before and after reconstruction. Then we will follow with analyze the effect of reconstruction on energy consumption. In the end we will make some suggestions for using the local source of heat and electricity in Faculty of mechanical engineering, Brno university of technology. All suggestions will be analyzed from energy and economic point of view.

Key words

Cogeneration, photovoltaic power plant, electricity, heat, source, energy

Bibliografická citace

BURÁŇ, P. Energetické zásobování areálu Technická 2. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana docenta Jiřího Pospíšila s využitím uvedené literatury a na základě konzultací.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Bc. Petr Burán

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky během vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat energetikovi fakulty panu Miroslavovi Beranovi za poskytnutí všech potřebných podkladů a konzultací. Velké díky také patří firmě CEVRE Consultants s.r.o. za odborné konzultace a poskytnutí programů potřebných pro vypracování práce. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu během celého studia na vysoké škole.

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Přehled možností lokálních zdrojů energie	14
2.1. Kogenerace	14
2.1.1. Princip kogenerace	14
2.1.2. Výhody kogenerace.....	14
2.1.3. Velké kogenerační jednotky	15
2.1.4. Malé kogenerační jednotky	17
2.2. Solární fotovoltaické panely	18
2.2.1. Materiál a konstrukce fotovoltaických článků	19
2.2.2. Součásti fotovoltaické elektrárny	20
3. Popis a zhodnocení energetického zásobování areálu Technická 2	22
3.1. Spotřeby energií před rekonstrukcí.....	27
3.2. Spotřeby energií po rekonstrukci.....	30
4. Možnosti dalšího rozvoje využití lokálních technologií produkce elektřiny a tepla.....	36
4.1. Varianta 1: Návrh kogenerační jednotky pro areál Technická 2	36
4.2. Varianta2: Návrh fotovoltaické elektrárny	51
5. Závěr.....	71

1. Úvod

Energetické zásobování budov či areálů je v současné době důležitým faktorem pro provoz nebo i investici do výstavby nových budov. Se zvyšující se životní úrovní se také zvyšují nároky na spotřeby energií, s tímto trendem růstu spotřeby energií se počítá i do budoucna. S postupem času došlo vlivem snižování zásob fosilních paliv ke snaze, o co největší využitelnost jednotlivých zdrojů energie. Jsou zde snahy o využívání odpadního tepla a v posledních letech o co největší podíl na spotřebě díky využití obnovitelných zdrojů energie. Tyto snahy podporuje také náš stát formou různých dotací a příspěvků na využívání nových technologií pro výrobu tepla, elektřiny či jejich kombinovanou výrobu.

Investora bude vždy zajímat výše počáteční investice a také její návratnost. Pro tyto cíle je nutné znát současný stav a také odhadnout směr, kterým se energetika vydá do budoucna. Pro počáteční návrh nového systému, či úpravu systému stávajícího, je nejlepší znát průběhy spotřeb energií v daném objektu, aby došlo k co nejpřesnějšímu výpočtu, jak už energetických bilancí, tak i bilancí ekonomických.

Snahy po co nejefektivnějším využívání energií vyústily v rekonstrukci areálu Fakulty strojního inženýrství na adrese Technická 2 (dále jen FSI). V této rekonstrukci došlo ke kompletní přestavbě výškové budovy A1, zateplení a výměně okenních výplní všech budov areálu. Cílem této rekonstrukce bylo splnění moderních požadavků na vytápění budov. Samozřejmě zde byl také cíl v podobě úspory nákladů na vytápění a provoz budov. Už v předchozích letech byly na naší fakultě snahy, o již zmíněné co nejefektivnější využívání paliva. Je zde v provozu kogenerační jednotka (která ale nepatří FSI) a také je zde v provozu, již delší dobu, fotovoltaická elektrárna. Další fotovoltaická elektrárna se nainstalovala na budovu A1 v průběhu rekonstrukce.

My můžeme provést návrh možností využívání dalších lokálních zdrojů tepla a elektřiny. Dá se předpokládat že i do budoucna bude růst tlak na využívání obnovitelných zdrojů energie, nebo také na více efektivní využívání paliva. Budeme se soustředit na možnost využití kogenerační jednotky nebo fotovoltaické elektrárny v areálu FSI.

2. Přehled možností lokálních zdrojů energie

2.1. Kogenerace

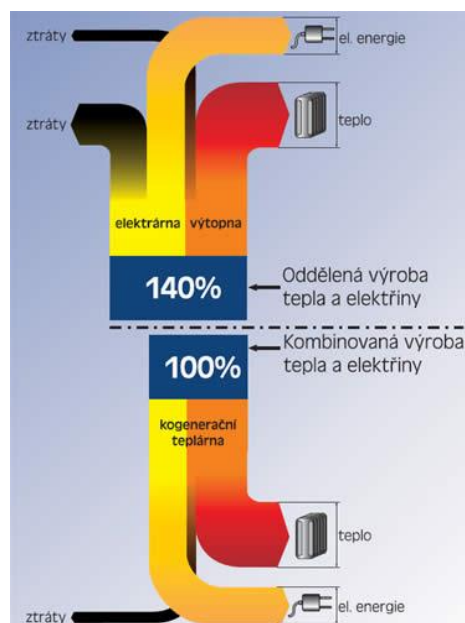
Kogenerace, u nás také označována jako KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla), je ekologický a velice efektivní způsob výroby elektrické energie, kdy dochází zároveň i k výrobě tepla.

Teplo, které je u klasických zdrojů elektrické energie vypouštěno bez využití do vzduchu, je právě u kogenerace využito a má za následek obrovské zvýšení celkové efektivity celého procesu. U kogeneračních jednotek se bavíme o celkové účinnosti přes 90%. Na druhou stranu u zdrojů, kde se teplo nevyužije, se účinnost pohybuje mezi 30 až 40%.

2.1.1. Princip kogenerace

Teplo, které je na rozdíl od klasické výroby elektrické energie využito, znamená hlavní rozdíl a také velkou výhodu kogeneračních jednotek vůči zdrojům elektrické energie. Jak je již napsáno v předchozím odstavci, kogenerace znamená současnou výrobu tepla a elektrické energie.

Díky obrovskému rozsahu výkonů, ve kterých se kogenerační jednotky vyrábí (jednotky kilowatt elektrických (kWe) až stovky megawatt elektrických (MWe)), se z nich stává i univerzální zdroj tepla a elektrické energie. Dají se využít jak pro bytové domy, školy, bazény nebo průmyslové podniky. Kogenerační jednotky největších výkonů se dají použít také pro energetické zásobování měst. [1]



Obrázek 1: Princip kogenerace [1]

2.1.2. Výhody kogenerace

Jak už bylo napsáno, tak nejvyšší výhodou oproti klasickým zdrojům energie je díky dalšímu využití tepla vyšší celková účinnost (výrazně) energetického využití paliva. Ta se u moderních kogeneračních jednotek pohybuje nad hodnotou 90%. Tak vysoká účinnost také dále znamená velké snížení nákladů na potřebné palivo.

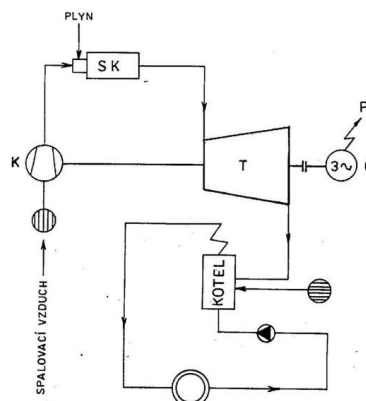
V dopadu na životní prostředí i pro zákazníky (spotřebitele energie) má kogenerace značné výhody. Například:

- Nižší emise CO_2 a dalších skleníkových plynů
- Vysoká účinnost energetického využití paliva
- Díky již uvedené vysoké účinnosti také podstatné snížení nákladů na pořízení paliva pro výrobu elektrické energie a tepla
- Možnost k rozvinutí decentralizovaného zásobování elektřinou a teplem
- Kogenerační jednotky jsou navrženy přímo pro konečného spotřebitele
- Decentralizace zásobování elektřinou a teplem má také za následek eliminaci (nebo podstatné snížení) ztrát v přenosových a distribučních
- Zabezpečení dodávek elektrické energie a tepla v určité oblasti [1]

2.1.3. Velké kogenerační jednotky

Se spalovací turbínou

Jednotka obsahuje soustrojí spalovací turbíny a generátoru pro výrobu elektrické energie a spalínový kotel. Z turbíny jsou spaliny vedeny do spalínového kotle, kde se využívají pro výrobu tepla (formou páry či horké (teplé) vody). Ve spalínovém kotli bývá také instalován přehřívací (dohořivací) hořák na zemní plyn, která se používá při nutnosti zvýšení výkonu spalínového kotle. Hořák je umístěn do proudu spalin, které jsou vedeny z turbíny do kotle. Teplota proudících spalin, které jsou také použity jako okysličovadlo, je zvýšena z cca 450-600°C na teplotu až 900°C. Při použití spalovací turbíny je volba média, kterým

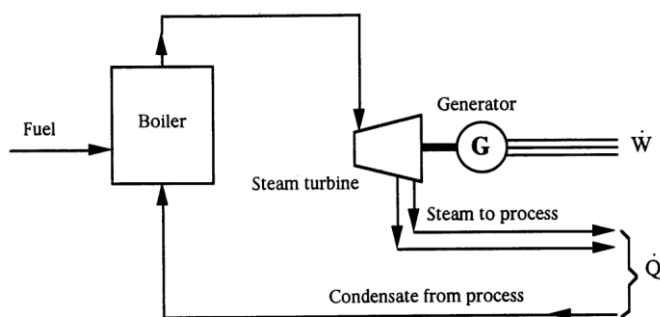


Obrázek 2: Kogenerace se spalovací turbínou [2]

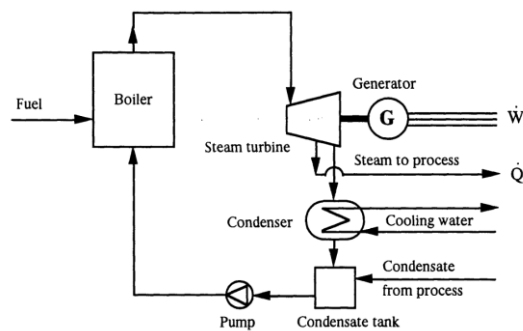
bude odváděno teplo ze spalínového kotle, je velkou výhodou oproti kogeneračním jednotkám, které využívají spalovací motory. Oproti parní kogeneraci jde zde také vyšší využití energie v palivu na výrobu elektrické energie a to cca 23-41%, teplo je vyráběno s účinností cca 35-57%. To má za následek celkovou účinnost cca 68-90%. Z důvodu vyšší výroby elektrické energie zde vzniká nevýhoda v podobě nutnosti spalování plynného paliva (zemního plynu). Jednotky využívající spalovací turbíny jsou vyráběny v rozsahu elektrického výkonu od 1MW až do 200MW. [2]

Parní kogenerace

V kotli se spalováním paliva jak fosilního tak i nefosilního (např. hnědé uhlí či biomasa) vyrábí pára, která se přivádí do parní turbíny, která pohání generátor na výrobu elektrické energie. Parní turbína může být kondenzační nebo protitlaká. Teplo se odebrává ve formě páry buď z výfuku parního stroje, nebo z odběru parní turbíny (protitlaku). Tlak odebírané páry odpovídá požadavkům na úroveň tepelné energie nebo konstrukci stroje. Jednotky s menšími elektrickými výkony (50 kW – 15 MW) obsahují soustrojí s protitlakými turbínami axiálního nebo radiálního typu. Jednotky o vyšším výkonu jsou dodávány pouze s axiálním typem turbíny. Turbíny pohánějí generátor přes převodovku. Radiální rychloběžné turbíny jak už jednostupňové či dvojestupňové s krátkou dobou najíždění a malou měrnou hmotností jsou výhodné s ohledem na termodynamickou účinnost. Ve výše uvedeném výkonovém rozpětí jsou axiální a radiální turbíny navrženy pro tlak páry na vstupu/výstupu 0,9-6,5/0,1-0,7MPa a pro teplotu páry 200-450°C. Elektrický výkon je regulován pomocí regulačního ventilu umístěného na přívodu páry, navíc se může regulace provádět pomocí natáčení lopatek statoru. Většinová je zde účinnost výroby tepla, která se pohybuje v rozmezí cca 62-76% (závisí na tlaku před a za turbínou). Elektrická energie se vyrábí s účinností cca 8-20%, celková účinnost využití paliva je tedy cca 77-87%. Palivem pro parní kogeneraci může být uhlí (levné palivo) nebo také biomasa (obnovitelný zdroj energie) a to je hlavní výhodou oproti plynové kogeneraci. [2]



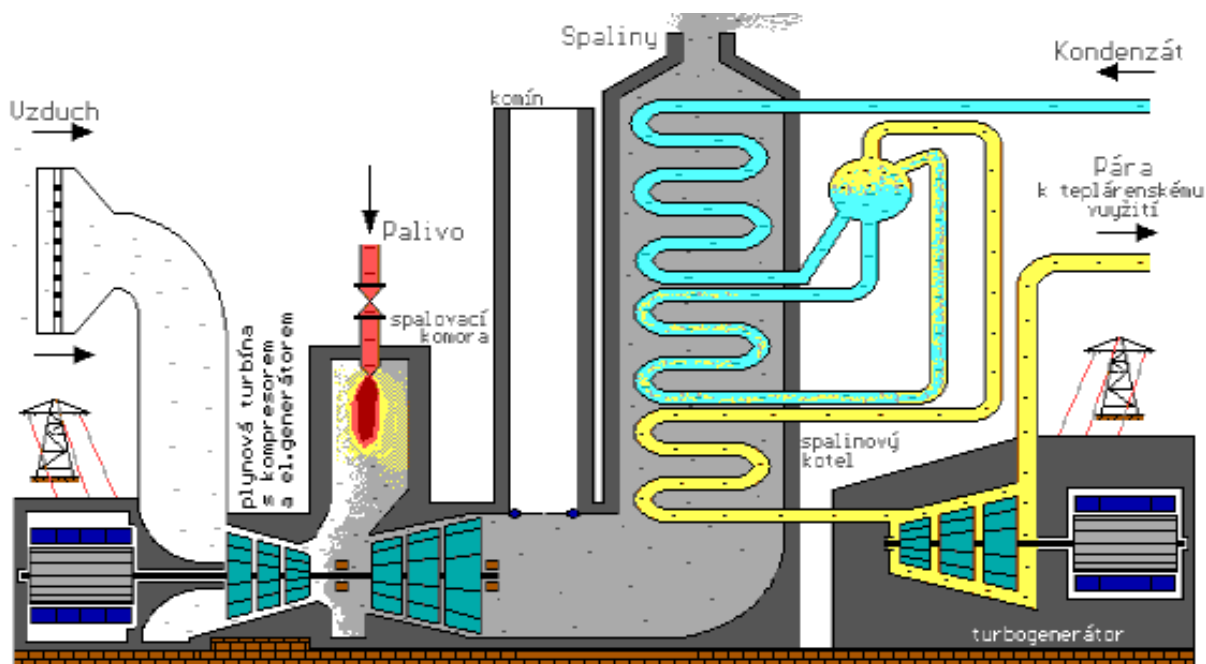
Obrázek 3: Kogenerace s protitlakou parní turbínou [3]



Obrázek 4: Kogenerace s kondenzační parní turbínou [4]

Paroplynová kogenerace

Je výsledkem snahy o co největší podíl výroby elektrické energie. To je zabezpečeno použitím dvou turbosoustrojí, které obsahují spalovací a parní turbínu. Spaliny vyrobené ve spalovací komoře jsou přiváděny do spalínového kotle, kde vyrábí páru. Pára odvedená ze spalínového kotle pohání parní turbínu. Občas je možnost vstříknutí určitého množství vyrobené páry do spalovací komory spalovací turbíny. Odváděné teplo je odebráno z odběru parní turbíny (protitlaku). Poměr paliva dodaného do spalovací komory turbíny a do spalínového se určí poměr výkonu turbíny spalovací a parní. Většinou se u větších jednotek používá dvoutlakového spalínového kotle i dvoutlakové parní turbíny. Elektrický výkon soustrojí s spalovací turbínou ku elektrickému výkonu soustrojí s parní turbínou se pohybuje okolo 3:1 až 4:1. Celý cyklus je založen na snaze o co nejvyšší podíl výroby elektrické energie. Ten může být i přes 44% z energie přivedené v palivu do cyklu. [2]



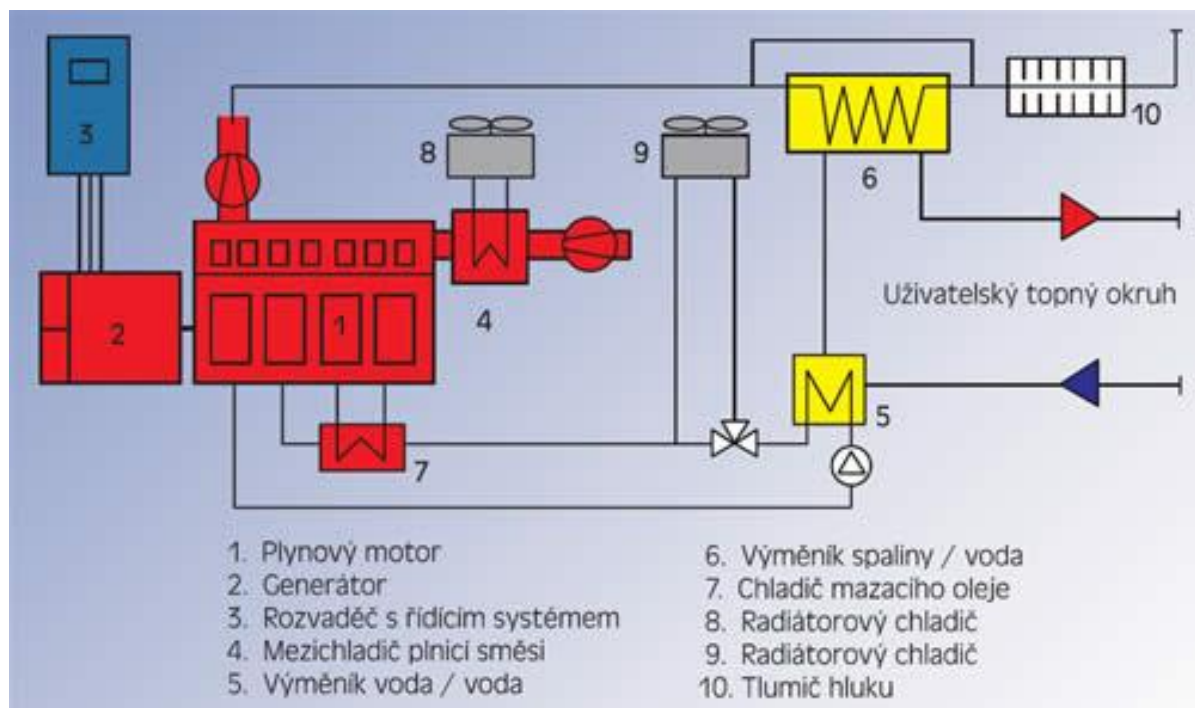
Obrázek 5: Kogenerace s paroplynovým cyklem [5]

2.1.4. Malé kogenerační jednotky

Kogenerační jednotky mají většinou malý výkon, ten se pohybuje od desítek po stovky kW. Tyto jednotky jsou většinou složeny ze spalovacího motoru, který pohání elektrický generátor. Jako palivo je nejčastěji použit zemní plyn. Někdy se používá i jiný druh plynu třeba bioplyn, skládkový plyn, nebo také dřevoplyn, který se získává z dřevoplynového generátoru. [3]

Kogenerace se spalovacím motorem

Využívá spalovací motoru nejčastěji na zemní plyn, který pohání alternátor pro výrobu elektrické energie. Teplo se odvádí pomocí tepelných výměníků na dvou různých teplotních úrovních. První úroveň je na teplotě cca 80-90 °C, kde výměník je umístěn tak aby odváděl teplo z bloku motoru a motorového oleje. Druhá teplotní úroveň je na teplotě cca 400-500 °C a výměník odvádí teplo z výfukových spalin motoru. Oba výměníky jsou sériově zapojeny z pohledu průtoku teplotnosné látky. Nejčastěji se tento druh kogenerace navrhuje na dodávání tepla do systému teplé vody o hodnotě 90/70 °C. Může, ale být také navrhu na dodávku do teplovodního systému 130/90 °C nebo 110/85 °C. Tyto jednotky jsou vyráběny o elektrickém výkonu od cca 20 kW do 5000 kW. Bohužel jak je vidět se jednotky nevyrábějí o tepelném výkonu vhodném pro rodinný dům např. 5-10 kW. [3]



Obrázek 6: Kogenerace se spalovacím motorem [6]

2.2.Solární fotovoltaické panely

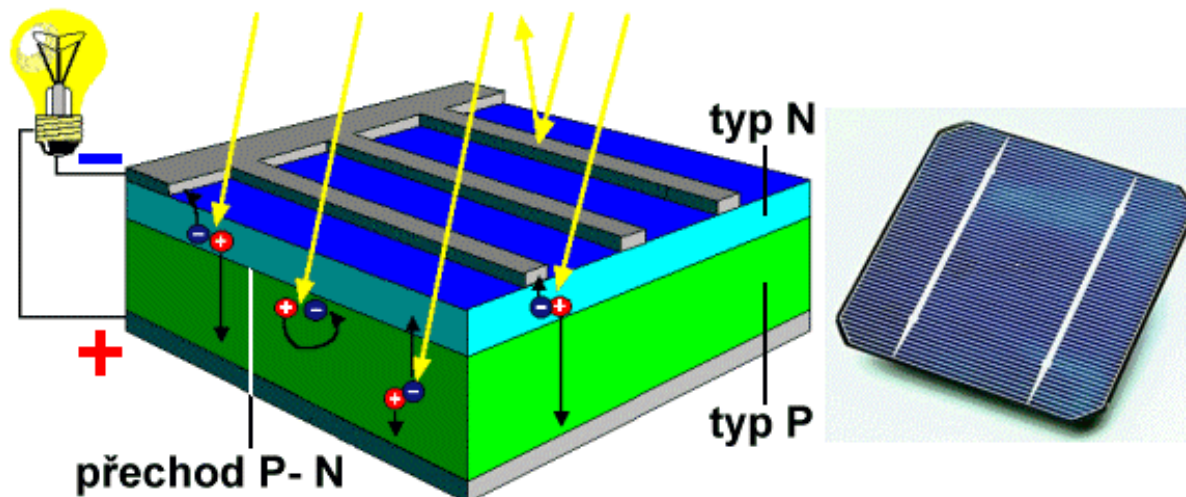
Přeměna energie slunečního záření na energii elektrickou v fotovoltaické elektrárně je založena na principu fotovoltaického jevu. Panel fotovoltaické elektrárny je složen z mnoha fotovoltaických článků. Základem fotovoltaického článku je polovodičová dioda. Polovodičová dioda toho článku obsahuje dvě vrstvy polovodičů. Jedna vrstva je anoda – polovodič typu P a druhá vrstva je katoda – polovodič typu N.

Ve vrstvě typu N je přebytek elektronů. U vrstvy P je elektronů zase nedostatek, tato vrstva má přebytek kladně nabitých děr. Takto udělané rozhraní polovodiče propustí proud ideálně jen jedním směrem a nazývá se P-N přechodem. Přechod elektronů z vrstvy N (kde je jich přebytek) do vrstvy P (kde je jich nedostatek) je nazýván závěrným směrem a je mu zabráněno pomocí potenciálové bariéry. Tím je zabráněno rekombinaci elektronů tzn. spojení elektronu s dírou. Prostup elektronů ve směru opačném, tzn. propustném směru je ale umožněn.

Fotovoltaický jev uvnitř článků vzniká při dopadu fotonů slunečního záření na fotočlánek. Dochází při tom k uvolnění elektronu z krystalových mřížek vrstvy N i P, které se ale díky propustnosti elektronů jen v jednom směru hromadí ve vrstvě N. To má za následek vznik elektrického napětí mezi vrstvami o velikosti cca 0,5-0,6 V. Napětí je možné zvýšit na požadovanou hodnotu zapojením fotočlánků do série, když se jednotlivé fotočlánky zapojí paralelně tak se dosáhne zase zvýšení proudu. Pro dosažení námi požadovaného napětí a proudu se v praxi články zapojují sério-paralelně.

Pro uvolnění elektronu z krystalové mřížky vrstvy je nutné, aby měl dopadající foton určitou energii. Tato energie musí být dostatečně velká pro překonání zakázaného pásu, hodnota této energie u křemíku je minimálně 1,12 eV. Energie fotonů je ovlivněna vlnovou

délkou záření. Výše uvedená energie 1,12 eV je pro infračervené záření, které má délku cca 1 105 nm. Záření o menší vlnové délce mají nedostatečnou energii, fotony tak vyvolají vznik elektronu a díry a zbylá energie se promění na teplo. Záření o vyšší vlnové délce křemíkem sice projdou, ale nejsou v něm zachyceny (absorbovány). Teoreticky je možno využít až 50% záření dopadajícího na článek, ale v praxi se využívá zhruba 25% dopadajícího záření. [4]



Obrázek 7: Fotovoltaický článek [7]

2.2.1. Materiál a konstrukce fotovoltaických článků

Křemík je v současnosti nejpoužívanějším materiálem na výrobu fotovoltaických článků. Křemík je v elektrotechnice hojně využíván a díky tomu má širokou technologickou základnu. Čistota 97-99%, ve které se křemík nachází v přírodě, není dostatečná pro použití v elektrotechnice. Tudíž je nutnost výroby křemíku a vyšší čistotě. Pro použití v fotovoltaických článcích se používá křemík polykrystalický, nebo monokrystalický.

Chemické metody výroby (např. Siemensova metoda) jsou používány pro výroby polykrystalického křemíku. Tento typ výroby je levnější než výroba křemíku monokrystalického. Články s polykrystalickým křemíkem mají vyšší účinnost při záření o nižší intenzitě. Účinnost článků s tímto typem křemíku bývá většinou 15-17%.

Metoda Czochralského využívá pro výrobu monokrystalického křemíku řízenou krystalizaci z taveniny. Články využívající monokrystalický křemík mají naopak vyšší účinnost při záření o vyšší intenzitě. Maximální účinnost článků s monokrystalickým křemíkem může přesáhnout 20%

Hojně využívaným materiálem je také arsenid galia. Hlavní výhoda oproti článkům z křemíku je vyšší účinnost. Účinnost článku vyrobeného z arsenidu galia je cca 29%. Nevýhodou je zase vyšší cena článku, vyšší hustota a křehkost. Články vyrobené z arsenidu galia se používají hlavně ve vesmírných družicích, a to díky odolnosti proti kosmickému záření a vyšší účinnosti. [4]

2.2.2. Součásti fotovoltaické elektrárny

- Fotonvoltaické panely
- MTTP měnič resp. regulátor
- Střídač
- Spojovací vodiče
- Ochranné prvky
- Elektrocentrála – baterie a záložní zdroj (když jde o ostrovní provoz)
- Transformátor – pro připojení do přenosové soustavy

Fotovoltaické panely

Sério-paralelní zapojení fotovoltaických článků vytvoří fotovoltaický panel. Stejným způsobem (sério-paralelně) se zapojí jednotlivé panely a toto spojení tvoří elektrárnu. Za ideálních podmínek tzn. světelné záření není stíněno, dopadá kolmo na panel, panel je bez nečistot a je ideální teplota panel produkuje maximální (peak) výkon. Tento výkon se udává v jednotce Watt peak (Wp) a je udáván jako výkon panelu. Ideální podmínky ale nejsou stále, například při zatažené obloze výkon klesne na cca 10% maximálního výkonu, při polojasnu je pokles na cca 35% maximálního výkonu panelu. Nominální napětí panelů bývá obvykle 12 nebo 24 V, zřídka i 48 V.

Před povětrnostními vlivy panel chrání a kryje speciální tvrzené sklo, dále je panel chráněn také hliníkovým nebo duralovým ochranným rámem. Další ochranou je vrstva chránící jednotlivé články před mechanickým poškozením. Tato vrstva se nachází mezi tvrzeným sklem a jednotlivými články a může být tvořena třeba z gelu Ethylen-vinyl acetátu (EVA), který propouští světlo. Jako celek je panel uzavřen a chráněn ze zadní strany laminátovou deskou například. Důležitým faktorem je také životnost panelu, která se udává na 25 let. Zárukou je také, že účinnost neklesne pod 90% po 10 letech a neklesne pod 80% po 25 letech. [4]

MTTP měnič resp. regulátor

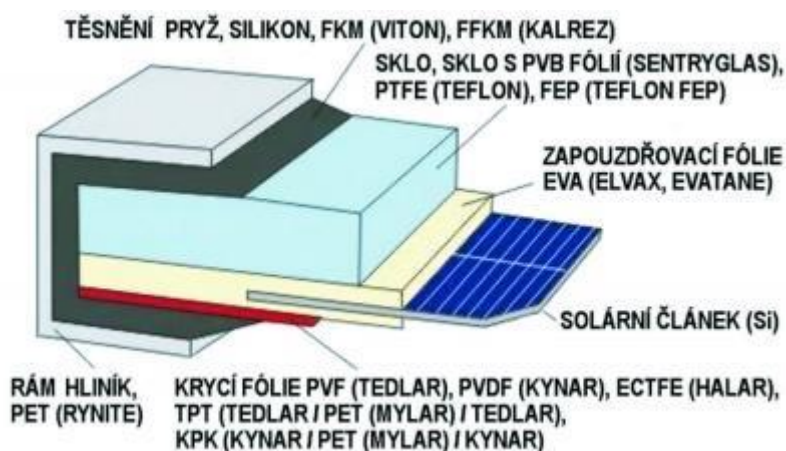
Sluneční záření dopadající na panel není konstantní, tudíž ani výroba elektrické energie z fotovoltaických elektráren není konstantní a to má za následek rozdílné napětí na výstupu, které ne nutně regulovat. Napětí na výstupu se reguluje pomocí solárního regulátoru. Regulátory klasické mají účinnost cca 80%. Je možnost použít ale regulátory moderní, které mají integrovaný DC/DC měnič a jsou označovány jako měniče MTTP. Účinnost MTTP měničů je cca 95-98%, ale jsou mnohonásobně dražší než regulátory klasické.

Střídač

Přeměňuje napětí stejnosměrné na napětí střídavé a může se nazývat také měničem.

Ochranné prvky

Ochranu proti zkratu poskytují jističe a ochranu před přepětím elektrárny (např. po úderu blesku) poskytují napěťové svodiče. Tyto ochranné prvky jsou obzvláště důležité u velkých elektráren. [4]

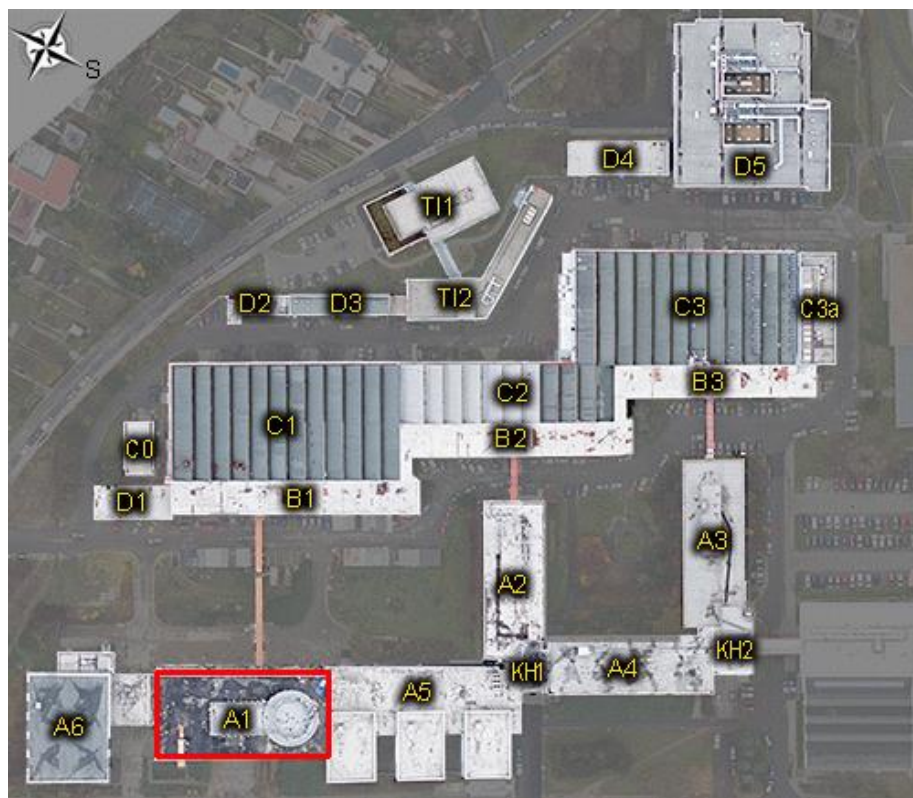


Obrázek 8: Konstrukce fotovoltaického panelu [8]

3. Popis a zhodnocení energetického zásobování areálu Technická 2

Areál fakulty strojního inženýrství se skládá z mnoha budov. V areálu je většina budova využívána přímo fakultou FSI, jsou zde ale i budovy, které se pronajímají. Většina budov je využívána jako učebny pro výuku, ale jsou zde i těžké laboratoře a dílny. Dále je v areálu také NETME centrum, které obsahuje například klimakomoru. Celý areál FSI prošel v roce 2016 rekonstrukcí, která se týkala zateplení všech budov a instalace moderních plastových oken. Tato rekonstrukce by měla významně ovlivnit spotřeby energií na vytápění v budovách areálu.

Porovnání spotřeb energií před a po rekonstrukci bude uvedeno dále v mé práci. Pro naše potřeby budeme uvádět jen čistou spotřebu areálu a náklady FSI. Všechny uvedené informace a hodnoty jsou z dodaných průkazů energetických náročností budov vyhotovených před začátkem rekonstrukce v roce 2015 firmou Energo-dialog.



Obrázek 9: Mapa areálu FSI [9]

Budova A1:

Tato budova prošla v uplynulých letech kompletní rekonstrukcí. Budova je z většinové části prosklená a před rekonstrukcí byla vybavena starými okny s kovovými rámy, přes které unikalo značné množství tepla do okolí. Díky rekonstrukci, při které došlo i ke kompletní výměně okenních výplní a zateplení, by měla budova odpovídat moderním požadavkům na budovy ohledně vytápění. Jedná se výškovou 19 patrovou budovu o celkové výšce 74 metrů. Budova je využívána pro výuku v učebnách a jsou zde také administrativní prostory. Vytápění je zajištěno pomocí teplovodního vytápěcího systému, který využívá radiátorová tělesa. Během rekonstrukce došlo také k instalaci fotovoltaické elektrárny na jihovýchodní stěnu budovy o instalovaném výkonu 40 kW_p a také k instalaci moderního kompresorového chlazení.



Obrázek 10: A1

Budova A2:

- Využití budovy: učebny pro výuku
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 7
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 8299,5
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 96
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 11: A2

Budova A3:

- Využití budovy: učebny pro výuku
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 7
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 8800,3
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 78
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 12: A3

Budova A4:

- Využití budovy: učebny pro výuku
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 7
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 7082,8
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 75
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 13: A4

Budova A5:

- Využití budovy: učebny pro výuku a přednáškové místnosti
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 2
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 5701,6
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 99
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 14: A5

Budova A6:

- Využití budovy: přednášková místnost, menza a jídelna pro zaměstnance
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 2
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 3399
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 76
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 15: A6

Budova KH1:

Jedná se pouze o schodiště a slouží také k propojení jednotlivých budov mezi sebou. Je také vytápěno pomocí radiátorů.

Budova KH2:

Jedná se pouze o schodiště a slouží také k propojení jednotlivých budov mezi sebou. Je také vytápěno pomocí radiátorů.

Budova B1:

- Využití budovy: výukové místnosti
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 4
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 3429,4
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 90
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 16: B1

Budova B2:

- Využití budovy: výukové místnosti
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 4
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 3313,8
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 137
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 17: B2

Budova B3:

- Využití budovy: výukové místnosti
- Otopný systém: teplovodní s radiátorovými tělesy
- Počet pater [-]: 4
- Energeticky vztažná plocha [m²]: 3013,4
- Měrná dodaná energie na vytápění [kWh/(m²*rok)]: 99
- Třída energetické náročnosti budovy: B



Obrázek 18: B3

Budova C0:

Jedná se o nově postavenou budovu. Obvodové stěny jsou složeny ze sendvičových panelů moderního typu, které se v současné době používají při stavbě hal.



Obrázek 19: C0

Budova C1:

Tato budova jde využívána jako těžké laboratoře (dílny). Budova o půdorysu 72 x 37 metrů je vytápěna pomocí teplovodního systému, který využívá vzduchotechnické nástěnné jednotky (u nás obecně nazývané jednotky SAHARA). Z jedné strany budova přiléhá na budovu B1.



Obrázek 20: C1 a C2

Budova C2:

Jedná se o budovu využívanou jakožto těžké laboratoře (dílny). Půdorys budovy je 72 x 18 metrů a z jedné strany je přilehlá na budovu B2. Vytápěna je pomocí teplovodního systému, který využívá vzduchotechnické nástěnné jednotky (u nás obecně nazývané jednotky SAHARA).

Budova C3:

Jedná se o budovu využívanou jako těžké laboratoře (dílny). Půdorys budovy je 72 x 37 metrů. Z jedné strany budova přiléhá na budovu B3. Vytápěna pomocí teplovodního systému, který využívá vzduchotechnické nástěnné jednotky (u nás obecně nazývané jednotky SAHARA).



Obrázek 21: C3

Budova C3a:

Půdorys 37 x 11 metru, letecký ústav.

Budova D1:

Budova o půdorysu 25 x 10 metru. Tato budova je pro nás nevýznamná, protože se nevytápí. Jedná se o trafostanici.

Budova D2:

Budova patří do komplexu nazývaném jako „inkubátor.“ Jedná se u budovy D2, D3, TI1 a TI2. Tyto budovy jsou určeny k pronájmu a jsou díky tomu mimo zájem naší práce o spotřebu energií budov využívaných pouze fakultou (čistá spotřeba areálu fakulty).

Budova D3:

Jedná se o další budovu „inkubátoru.“ Budova je určena k pronájmu a je díky tomu mimo zájem naší práce o spotřeby energií budov využívaných pouze fakultou (čistá spotřeba areálu fakulty).

Budova D4:

Jedná se o nevytápěnou budovu, která slouží jako trafostanice.

Budova D5:

Jedná se o budovu, která je nazývána jako NETME centrum a nachází se zde kanceláře a laboratoře. Zajímavostí může být, že se nachází také klimakomora. Tato budova je významně mladší než zbytek areálu a už při stavbě byly zohledněny energetické úspory a díky tomu byla budova hned zateplena a vybaveny moderními plastovými okny.

Budova TI1:

Další z budov určených k pronájmu.

Budova TI2:

Poslední ze skupiny budov „inkubátoru.“ Budova je určena k pronájmu a je díky tomu mimo zájem naší práce o spotřeby energií budov využívaných pouze fakultou (čistá spotřeba areálu fakulty).

3.1.Spotřeby energií před rekonstrukcí

Nyní si představíme spotřeby energií areálu fakulty strojního inženýrství v letech před rekonstrukcí budov. Jedná se tedy o spotřeby v době, kdy budovy nebyly zatepleny a ani neměly moderní plastová okna. V této době byly budovy vybaveny starými dřevěnými okny.

V období od roku 2012 do roku 2015 byla úplně uzavřena budova A1 z důvodu kompletní rekonstrukce. V roce 2015 také začala výměna oken a zateplení zbylých budov areálu. V areálu FSI bylo ale umístěno velké množství stavebních buněk, které odebíraly nezanedbatelné množství energie. Tyto spotřeby nám dále poslouží k zhodnocení rekonstrukce areálu. Předpokládá se snížení nákladů na vytápění budov.

Na střeše budovy C3 se nachází fotovoltaický systém pro výrobu elektrické energie o instalovaném výkonu 20 kW_p. Fotovoltaické panely jsou orientovány jihovýchodním směrem a její produkci elektriny si ukážeme dále v práci jako součást návrhu další fotovoltaické elektrárny.

Dále je v areálu v provozu kogenerační jednotka za rostlinný olej o elektrickém výkonu $P_{el} = 172 \text{ kW}_e$ a tepelném výkonu také $Q_{max} = 172 \text{ kW}$, která ale není majetkem FSI. Provoz této jednotky si popíšeme dále v práci jako součást návrhu kogenerační jednotky.

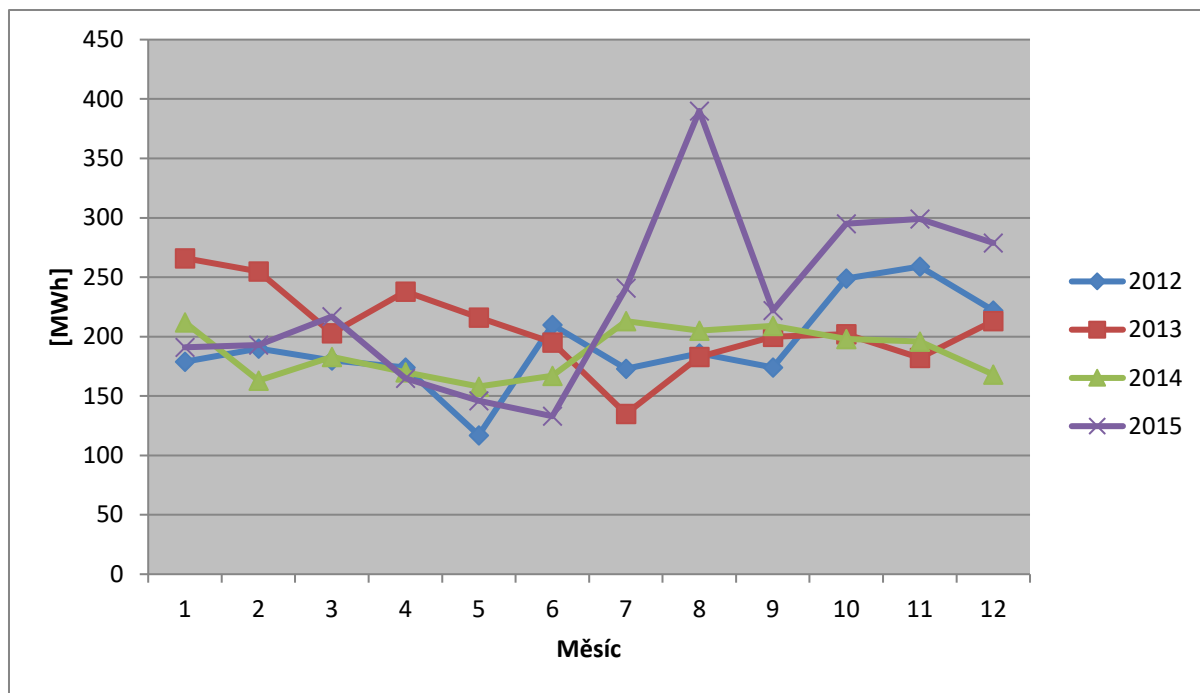
Připomeneme si, že hodnoty spotřeb energií jsou pouze pro budovy, které využívá fakulta strojního inženýrství VUT. Ceny za energie jsou uvedeny bez DPH.

měsíc	2012			2013				2014			
	Elektřina [MWh]	Teplo [GJ]	Voda [m ³]	Elektřina [MWh]	Teplo [GJ]	Voda [m ³]	Plyn [m ³]	Elektřina [MWh]	Teplo [GJ]	Voda [m ³]	Plyn [m ³]
leden	179	3669	1121	266	4675	1310	201	212	3009	1864	105
únor	190	4739	2175	255	3708	1637	38	163	1587	2007	555
březen	180	1716	2154	203	3485	1908	1043	183	785	2620	566
duben	174	1180	1958	238	1272	2039	136	170	581	2953	1507
květen	117	38	2432	216	95	1529	136	158	161	2108	778
červen	210	5	1972	195	63	2465	185	167	29	1832	1175
červenec	173	62	1947	135	30	2707	135	213	87	1764	437
srpen	186	76	1966	183	53	2417	101	205	94	1653	208
září	174	78	1341	200	172	1565	360	209	149	2257	392
říjen	249	1120	2369	202	476	1941	368	198	503	2483	551
listopad	259	1927	2002	182	1354	1844	1184	196	945	2631	1353
prosinec	222	4429	1114	213	2042	1958	315	168	1833	2706	1083
celkem	2313	19039	22551	2488	17425	23320	4202	2242	9763	26878	8710
tis. Kč	6088	9297	1272	6844	8509	1371	40	5877	4767	1658	148

2015				
měsíc	Elektřina [MWh]	Teplo [GJ]	Voda [m ³]	Plyn [m ³]
leden	191	1919	2178	409
únor	193	1788	2365	551
březen	217	1219	2794	1031
duben	165	855	2387	1557
květen	146	177	3756	724
červen	133	37	1833	709
červenec	241	24	1743	693
srpen	390	59	1789	342
září	222	92	1975	562
říjen	295	1377	1929	720
listopad	299	1849	2076	531
prosinec	279	2528	1741	383
celkem	2771	11924	26566	8212
tis. Kč	5834	5823	2340	160

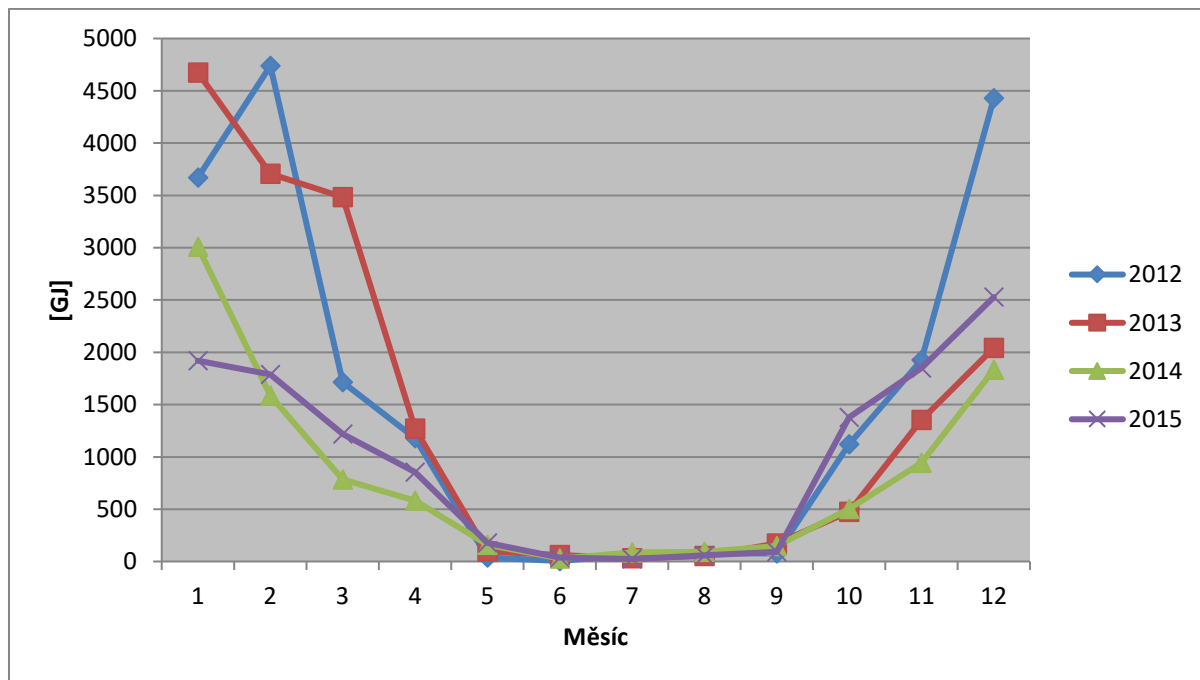
Obrázek 22: Spotřeba energií areálu 2012-2015

Pro grafické srovnání si nyní ukážeme spotřeby jednotlivých energií v grafech, kde jsou vedle sebe zobrazeny jednotlivé roky. Na níže uvedeném grafu vidíme odběr elektrické energie v jednotlivých měsících daného roku. V roce 2015 už se chýlila rekonstrukce výškové budovy A1 ke konci a začínalo se se zkušebním provozem nově nainstalovaného vybavení, například nového chladicího systému. Toto testování, kdy jelo chlazení na svůj plný výkon bez regulace má za následek špičku ve spotřebě elektřiny v 8. měsíci roku 2015.



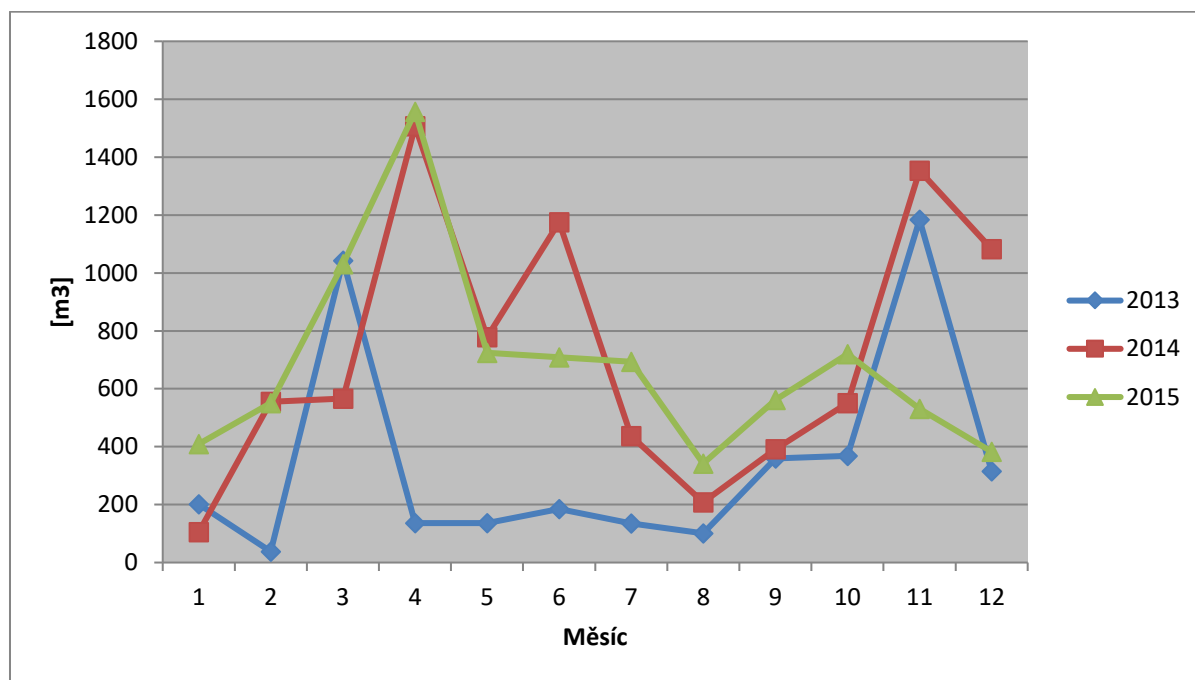
Obrázek 23: Spotřeba elektřiny před a během rekonstrukce

Spotřeba tepla je závislá na venkovní teplotě, když je průměrná roční tepla nižší je zřejmé, že spotřeba tepla bude vyšší. Důležitý je ale typický průběh spotřeby tepla, kdy od 5. měsíce v roce už klesá spotřeba tepla téměř na nulu. Téměř nulový odběr tepla trvá přes letní měsíce a až od září dochází znovu v nárůstu spotřeby tepla způsobeného nutností vytápění. V letních měsících, kdy odběr tepla téměř nulový nemá smysl provozovat kogenerační jednotku.



Obrázek 24: Spotřeba tepla před a během rekonstrukce

Spotřeba zemního plynu není konstantní a nemá ani nějaký typický průběh. Je zde ale vidět menší nárůst v období, kdy je venkovní teplota na nižší hodnotě. Tento nárůst bude způsoben přitápěním pomocí plynu.



Obrázek 25: Spotřeba zemního plynu před a během rekonstrukce

3.2. Spotřeby energií po rekonstrukci

Rok 2012 byl posledním rokem před začátkem rekonstrukce budov, tudíž si tento rok uvedeme zvlášť a porovnáme ho s rokem 2016. Rok 2016 je prvním rokem, ze kterého jsou dostupné spotřeby energií areálu po rekonstrukci a hlavně je to prvním rokem kdy se plně vyžívala kompletně zrekonstruovaná výšková budova A1.

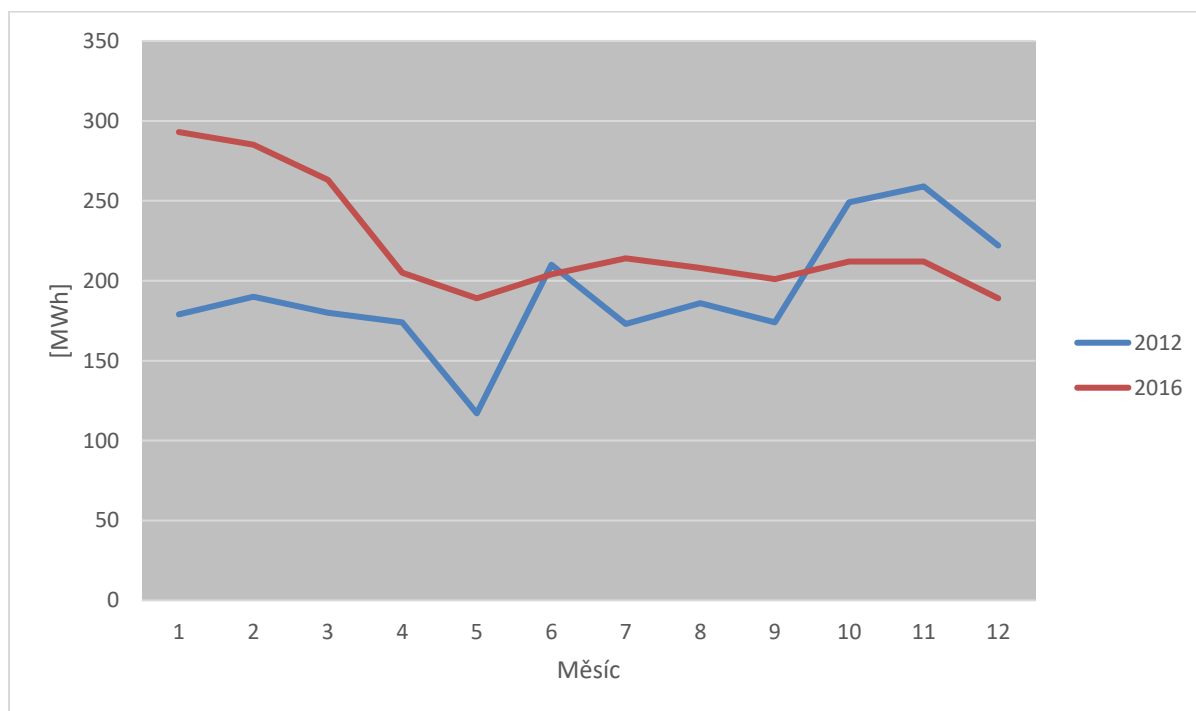
Během rekonstrukce budovy A1 došlo k instalaci fotovoltaických panelů pro výrobu elektrické energie na jihovýchodní stěnu této budovy. Celé fotovoltaické pole má instalovaný výkon 40 kW_p a pokrývá téměř celou jihovýchodní stěnu výškové budovy. Produkci této fotovoltaické elektrárny si probereme dále v této práci jako součást návrhu dalšího fotovoltaického pole.

Dále zde byly také nainstalovány dvě kompresorové chladicí jednotky o celkovém příkonu 590 kW.

měsíc	2012			2016			
	Elektřina	Teplo	Voda	Elektřina	Teplo	Voda	Plyn
	[MWh]	[GJ]	[m³]	[MWh]	[GJ]	[m³]	[m³]
leden	179	3669	1121	293	3411	3051	466
únor	190	4739	2175	285	1963	3043	554
březen	180	1716	2154	263	1725	3145	644
duben	174	1180	1958	205	881	3287	460
květen	117	38	2432	189	79	3428	608
červen	210	5	1972	204	23	3218	453
červenec	173	62	1947	214	108	3183	738
srpen	186	76	1966	208	139	3257	333
září	174	78	1341	201	157	3226	534
říjen	249	1120	2369	212	824	3745	50
listopad	259	1927	2002	212	1861	3266	346
prosinec	222	4429	1114	189	2751	3786	645
celkem	2313	19039	22551	2675	13922	39635	5831
tis. Kč	6088	9297	1272	4686	6798	1995	89

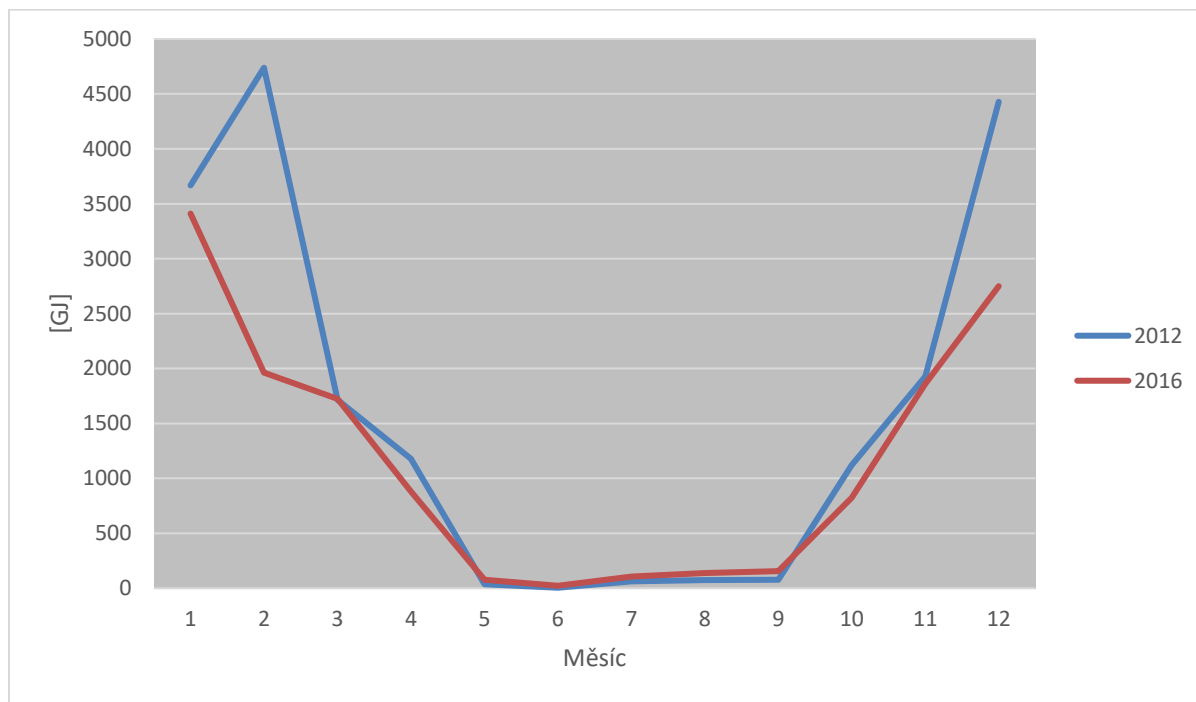
Tabulka 1: Srovnání spotřeby energií před a po rekonstrukci

Mezi lety 2012 a 2016 došlo k mírnému nárůstu spotřeby elektřiny. Tento nárůst je očekáván a odpovídá trendu zvyšující se potřebě elektřiny obecně. Zvyšování spotřeby elektřiny je obecně způsobeno zvyšováním nároků na komfort v obydlí. V tomto nárůstu je také zahrnuta instalace kompresorové chlazení do budovy A1.



Obrázek 26: Spotřeba elektřiny 2012 a 2016

Zde vidíme předpokládaný pokles spotřeby tepla způsobený zateplením budov a výměnou oken. Pokles spotřeby tepla se rovná přibližně 30 % z původní hodnoty. Na níže uvedeném grafu lze pěkně vidět klasický průběh čisté spotřeby tepla areálu. V období letních měsíců spotřeba tepla klesá téměř na nulové hodnoty což značně omezuje využití kogenerační jednotky. Průběh odběru tepla má vždy podobný charakter, jen se mění konkrétní množství spotřebovaného tepla.



Obrázek 27: Spotřeba tepla 2012 a 2016

Ohledně úspory spotřeby tepla se může říci, že rekonstrukce budov v areálu proběhla úspěšně a splnila svůj smysl. Cena za jeden GJ tepla je téměř totožná v obou případech (488 Kč/GJ), ale jak již bylo řečeno odběr tepla z centrálního zásobování teplem klesl téměř o 30 % což má za následek finanční úsporu na nákladech za teplo ve výši 2 499 000 Kč ročně.

Chladicí systém

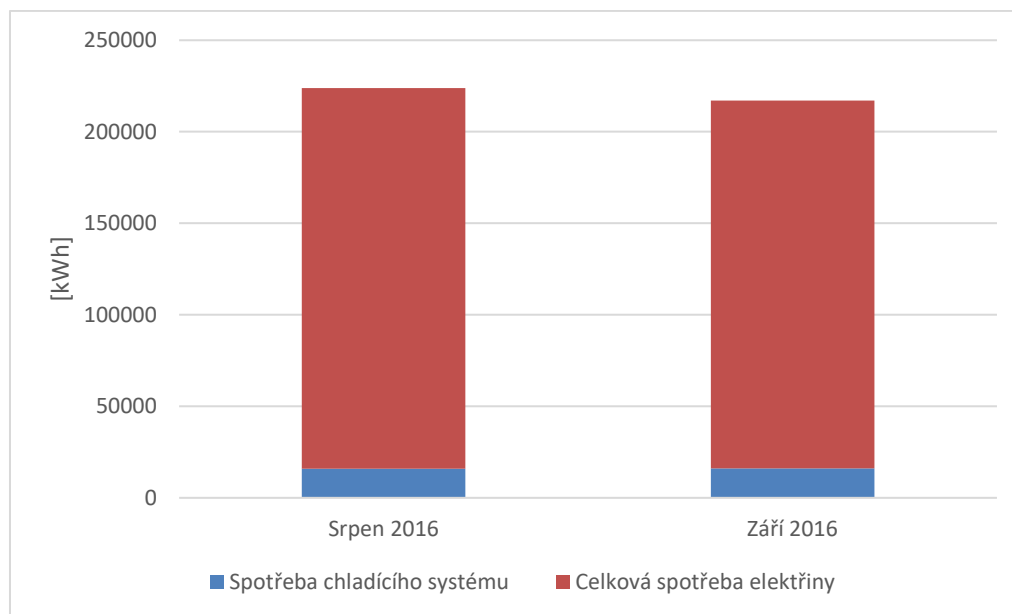
V době kompletní rekonstrukce budovy A1 bylo nainstalováno nové kompresorové chlazení. Toto chlazení se skládá ze dvou chladiců vody s odděleným kondenzátorem. Každý chladíč má příkon 295 kW což nám dává celkový příkon chladicího systému 590 kW. Po úvodním testování a ověřování hlučnosti, kdy byly v provozu obě chladicí jednotky na svůj maximální výkon došlo k instalaci regulace a také se provádí pravidelné odečty spotřeby jednotek. Jak uvidíme dle odečtů spotřeby elektřiny, tak většinu času je v provozu jen jedna jednotka a druhá je jako záloha při vysokém odběru chladu.

Jednotky, které zde byly nainstalovány jsou totožné, a jedná se o jednotky typu MDE-3 2.320 od italské firmy CLIVET. Tyto jednotky mají chladicí výkon 835 kW každá. Měření probíhá pomocí elektroměru s konstantou 120. Nyní si uvedeme odečty z elektroměru a následně vypočítané měsíční spotřeby chladicího systému. [5]

2016	srpen							září
Jednotka 1				Jednotka 2				
den	elektroměr	den	elektroměr	den	elektroměr	den	elektroměr	
1	184	17	186	1	270	17	328	
2	184	18	186	2	278	18	335	
3	184	19	186	3	280	19	341	
4	184	22	186	4	282	22	348	
5	184	23	186	5	292	23	353	
8	184	24	186	8	298	24	359	
9	185	25	187	9	306	25	367	
10	185	26	187	10	312	26	373	
11	185	29	187	11	316	29	386	
12	185	30	187	12	320	30	394	
15	186	31	187	15	324	31	399	
Jednotka 1 [kWh]			360	Jednotka 2 [kWh]			15480	
Celkem obě jednotky [kWh]							15840	16080

Tabulka 2: Spotřeba chladicího systému - srpen a září

V tab. č.2 máme potvrzeno, že většinu času se pro chlazení využívá jen jedna jednotka. Součet spotřeb elektřiny obou jednotek se pohybuje měsíčně okolo hodnoty 16 000 kWh. Jak nám ovlivnila instalace chladicího systému spotřebu elektřiny si ukážeme následujícím grafu.



Obrázek 28: Podíl chlazení na spotřebě elektřiny

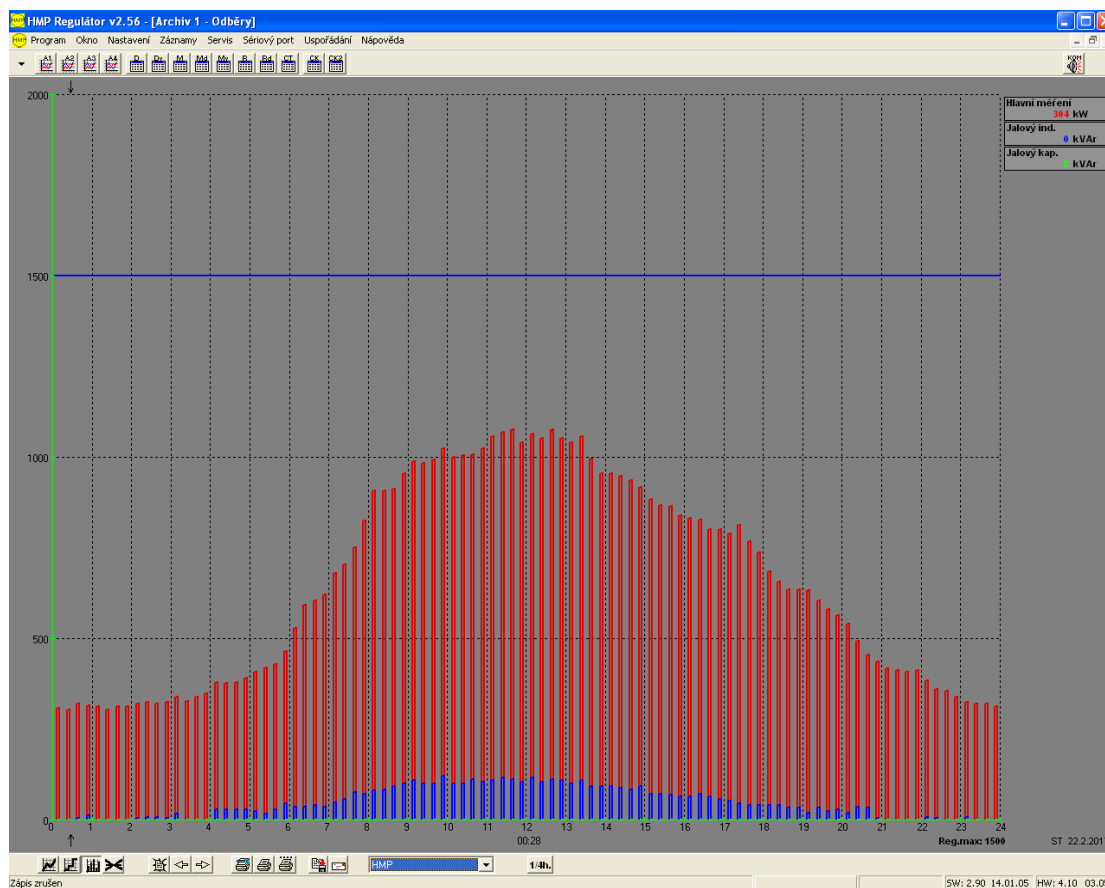
Jak můžeme vidět, tak spotřeba elektřiny chladicího zařízení není vůbec zanedbatelná a tvoří zhruba 8% z celkového odběru elektřiny FSI. Je nutné brát v potaz, že chladicí jednotky ale nejsou v provozu 12 měsíců v roce, ale jen v období měsíců, kdy je venkovní teplota na vyšších hodnotách. Obvykle se jedná o letní a podzimní měsíce.

Denní průběhy odběru elektřiny

Pro návrh kogenerační jednotky, je vhodné znát denní průběhy odběrů elektřiny. Tyto průběhy je nutné znát v situaci, kdy se navrhuje kogenerační jednotka tak, aby se veškerá vyrobená elektřina spotřebovala provozovatelem kogenerační jednotky. A přesně tuto variantu, kdy se veškerá elektřina vyrobená v jednotce spotřebuje v areálu FSI, budeme navrhovat.

V areálu FSI jsou tyto průběhy monitorovány hlavním energetikem přes program **HMP regulátor v2.56**. Je zřejmé, že odběr elektřiny nebude konstantní, ale bude vyšší v pracovních dnech a také v hodinách, kdy probíhá výuka a jsou využívány dílny a laboratoře v areálu. Pro srovnání si uvedeme průběhy odběru elektřiny v pracovní den a víkend. Také si uvedeme rozdíl mezi pracovním dnem a víkendem v zimním období a letním období.

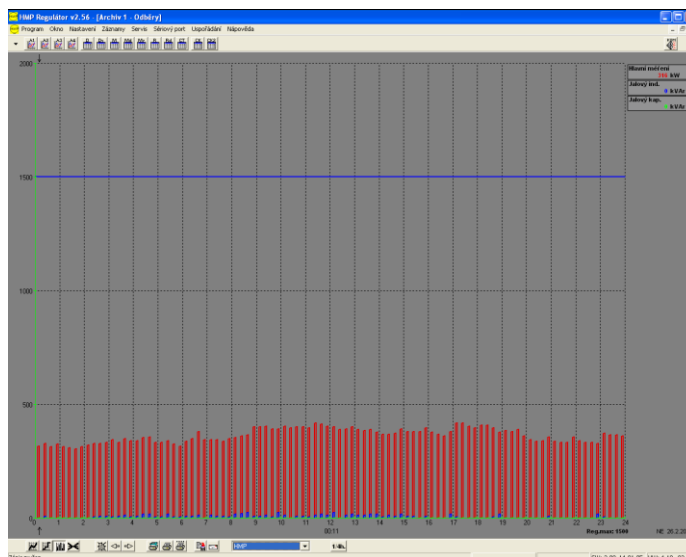
Na níže uvedených grafech uvidíme vždy průběh odběru elektřiny, kde na ose x je čas (v hodinách) a na ose y máme hodnotu elektrického výkonu areálu v kW. Na ose y v hodnotě 1500 kW je vždy zaznačena čára, která reprezentuje regulační maximum areálu FSI.



Obrázek 29: Odběr elektřiny v zimní pracovní den

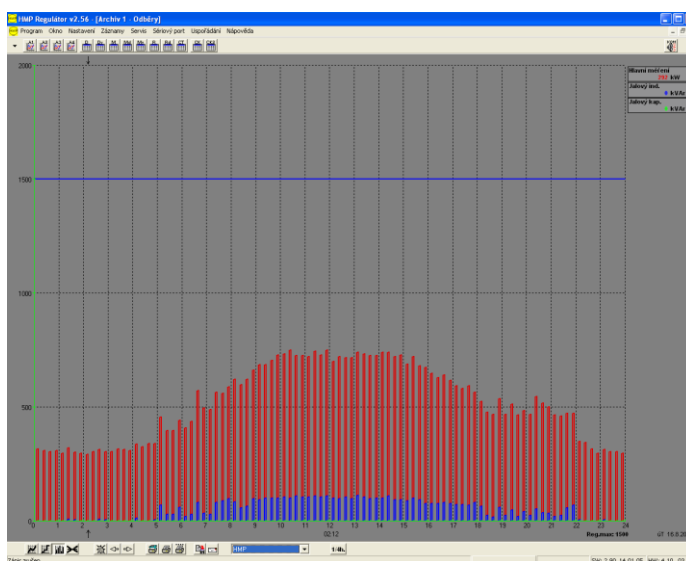
Na obrázku č.29 vidíme průběh odběru elektřiny pro den 22.2.2017. Jedná se o ukázkový pracovní den (středa) v zimním období. Zde je k vidění typický nárůst spotřeby elektřiny, který začíná kolem 6 hodiny a končí kolem 9 hodiny ráno. Tento nárůst se zastavuje až na hodnotě téměř 1100 kWh a je způsoben příchodem zaměstnanců a tím způsobeným začátkem využívání vybavených dílen, laboratoří a výukových učeben.

Dále zde máme odběr elektřiny pro zimní víkendový den, konkrétně neděli 26.2.2017. O víkendu nedochází k nárůstu spotřeby elektřiny kolem 9. hodiny ranní jako v pracovních dnech. Ale to neznamena, že je průběh spotřeby ve dnech, kdy není plně využit areál (laboratoře a zařízení v areálu) nepodstatný. Naopak je důležité znát hodnotu minima odběru elektřiny pro návrh kogenerační jednotky. Za předpokladu, že všechna elektrina vyrobená v KJ má být spotřebována provozovatelem, je důležité, aby elektrický výkon KGJ nepřesáhnul již zmíněné minimum odběru elektřiny.



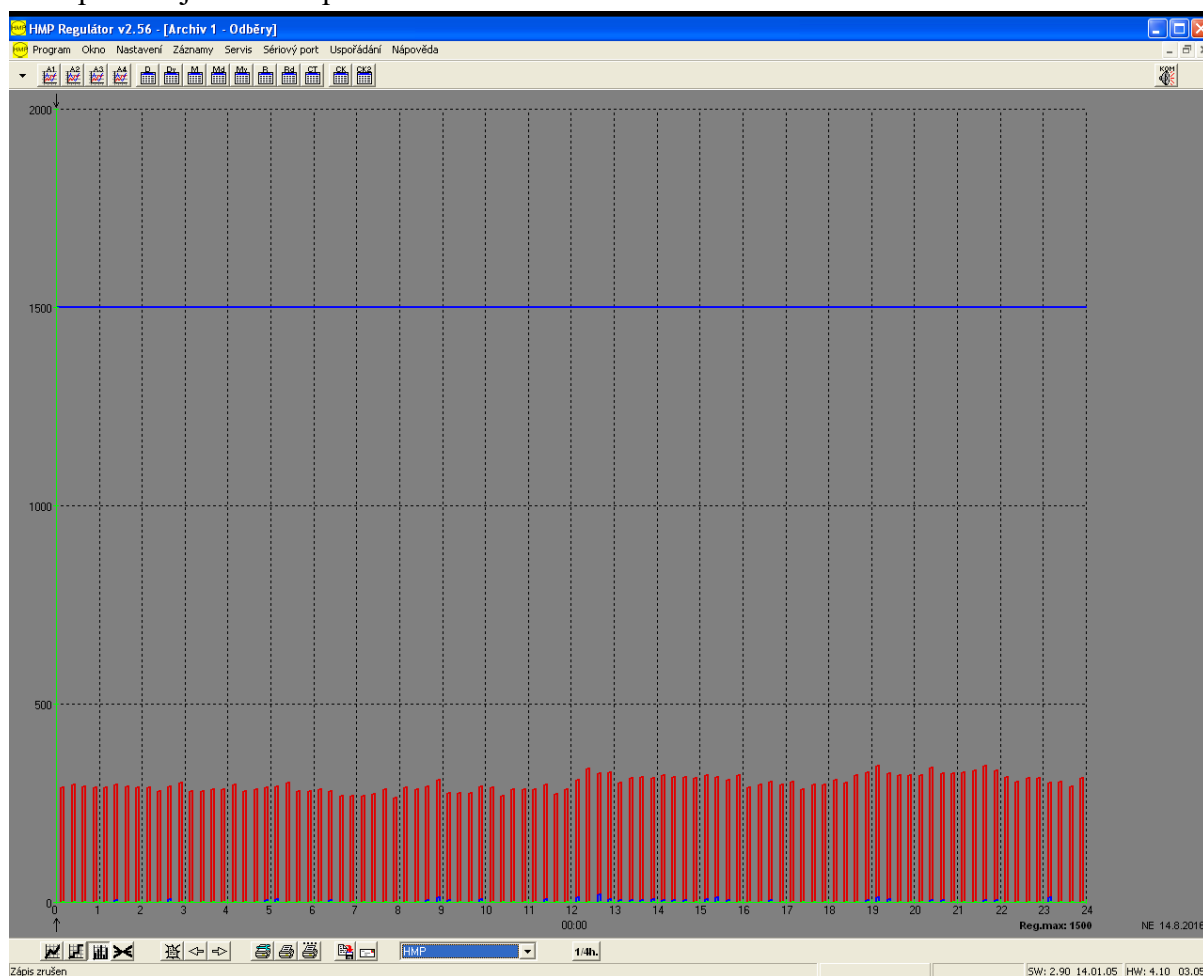
Obrázek 30: Odběr elektřiny v zimní víkendový den

Na obr.31 je uveden také pracovní den, ale v letním období (konkrétně úterý 16.8.2016), kdy v areálu neprobíhá výuka. To ale neznamena, že areál je téměř nevyužit jako o víkendových dnech. I zde je vidět nárůst spotřeby elektřiny zhruba od 6 hodiny a ustálení nastává kolem ranní 10. hodiny. Průběh je velmi podobný jako již výše uvedený průběh zimního pracovního dne. Maximální odběr ale není až na tak vysokých hodnotách, jako ve dnech, kdy probíhá výuka.



Obrázek 31: Odběr elektřiny v letní pracovní den

Jako poslední jsme si uvedli letní víkendový den, neděli 14.8.2016. Jak můžeme vidět průběh odběru elektřiny je téměř totožný jako ve výše uvedeném zimním víkendovém dnu. Spotřebou celého areálu jsou jen permanentně zapnutá důležitá zařízení. Jak už bylo napsáno, tato spotřeba je důležitá pro návrh velikosti KGJ.



Obrázek 32: Odběr elektřiny v letní víkendový den

4. Možnosti dalšího rozvoje využití lokálních technologií produkce elektřiny a tepla

4.1. Varianta 1: Návrh kogenerační jednotky pro areál Technická 2

Jako první možnost využití lokálního zdroje tepla a elektřiny se jeví instalace kogenerační jednotky do areálu. Během rekonstrukce došlo také k instalaci nového kompresorového chlazení do budovy A1. To má za následek, že není potřeba řešit zdroj chladu v letních měsících, a tudíž se nemusíme zabývat trigenerací. Naše první varianta bude tedy obsahovat pouze návrh kogenerační jednotky jakožto zdroj tepla a elektřiny.

Současná kogenerační jednotka v areálu FSI

Jak již bylo uvedeno v současnosti se v areálu FSI nachází jednotka, která nepatří fakultě. Jedná se na rostlinný olej o elektrickém výkonu $P_{el} = 172 \text{ kW}_e$ a tepelném výkonu $Q_{max} = 172 \text{ kW}$. Provoz jednotky není vázán na FSI a tudíž by se do budoucna vyplatilo pořídit kogenerační jednotku, která by byla ve vlastnictví FSI.

Podařilo se nám zjistit výrobu elektrické energie v jednotce za rok 2016.

	Produkce elektřiny
2016	[kWh]
leden	2 671
únor	3 831
březen	59 879
duben	74 830
květen	96 624
červen	95 723
červenec	69 290
srpen	71 162
září	85 618
říjen	97 725
listopad	83 070
prosinec	106 934
celkem	847 357

Tabulka 3: Produkce elektřiny ve stávající KGJ

V tabulce č.3 vidíme hlavní problém se stávající kogenerační jednotou, a to nestálý provoz, který se neřídí potřebami areálu. To je způsobeno tím, že FSI nevlastní jednotku a neovládá její provoz.

Volba a popis kogenerační jednotky

Všechny potřebné informace pro návrh kogenerační jednotky do areálu Fakulty strojního inženýrství v Brně již byly uvedeny, ale pro přehlednost a upřesnění si důležité hodnoty uvedeme ještě jednou.

Vzhledem k rekonstrukci všech budov (využívaných FSI) v areálu Technická 2 budeme brát hodnoty spotřeby energií z roku 2016 jako podklad pro návrh kogenerační jednotky. Využijeme toho, že v našem areálu již byla v provozu kogenerační jednotka spalující plyn. To nám poskytne finanční úsporu díky tomu, že investice do instalace plynové přípojky, odvodu spalín a přípravy prostoru odpadají. Také nám to dává jen orientační informaci o tom, o jak velikou jednotku se bude asi jednat.

Spotřeby energií pro návrh kogenerace			
	Spotřeba tepla	Spotřeba elektriny	Spotřeba elektriny
	GJ	GJ	MWh
leden	3411	1 055	293
únor	1963	1 026	285
březen	1725	947	263
duben	881	738	205
květen	79	680	189
červen	23	734	204
červenec	108	770	214
srpen	139	749	208
září	157	724	201
říjen	824	763	212
listopad	1861	763	212
prosinec	2751	680	189
Celkem	13 922	9 630	2675

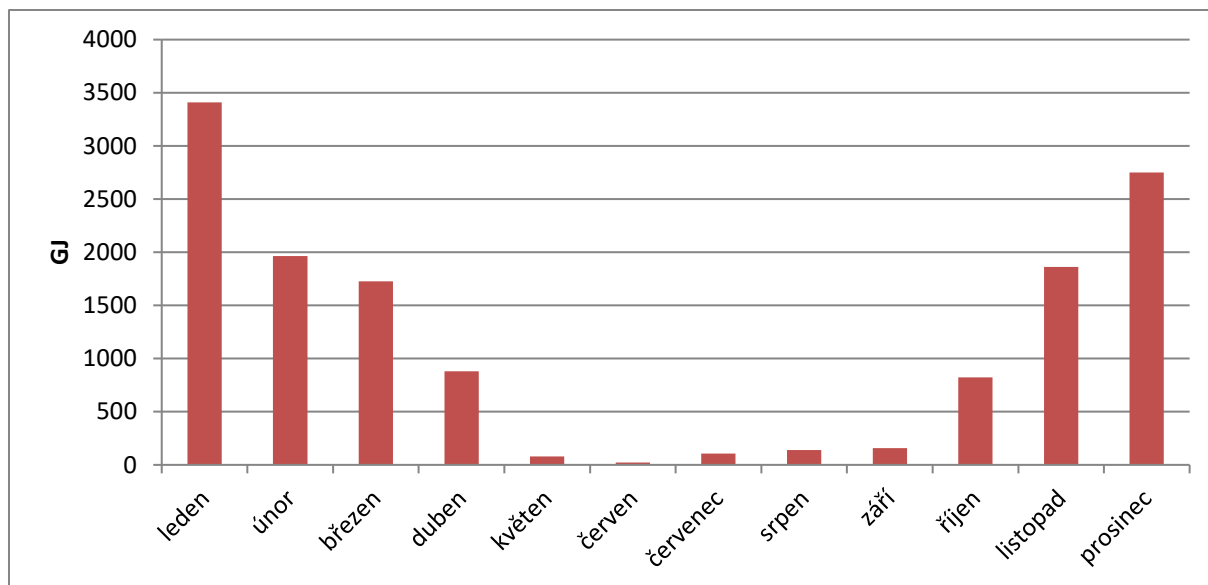
Tabulka 4: Spotřeby energií

Legenda k tabulce č. 4:

Přepočet spotřeby energie v MWh na GJ je pomocí vztahu:

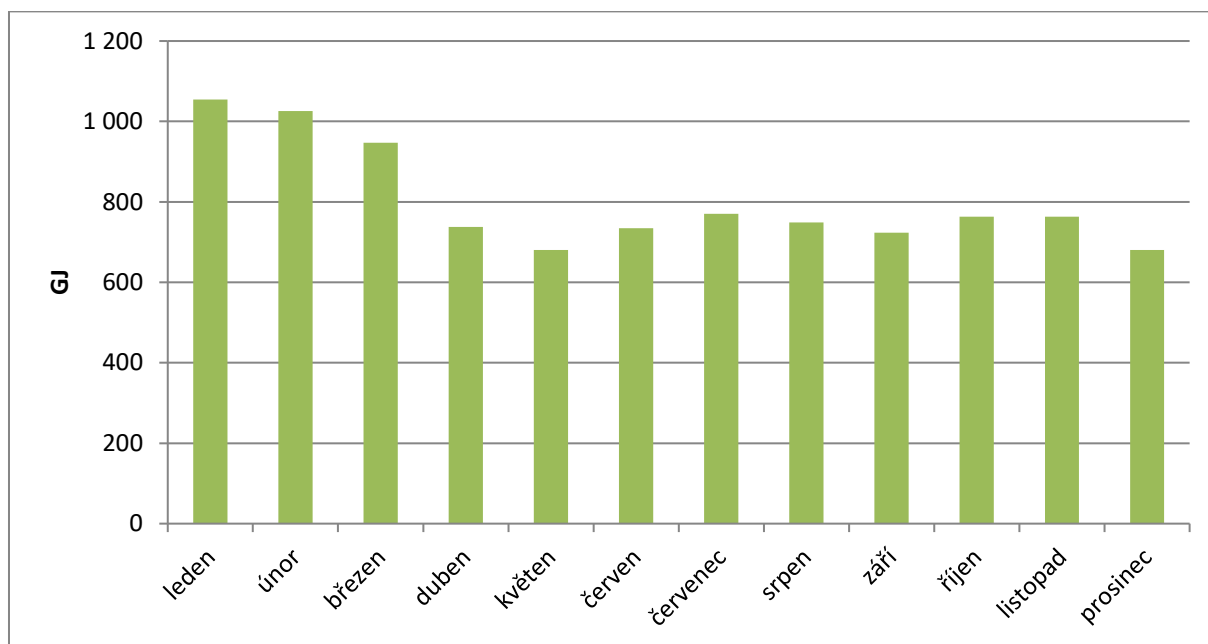
$$\text{Spotřeba elektriny [GJ]} = \text{Spotřeba elektriny [MWh]} * 3,6 \quad (1)$$

V roce 2016 tedy byla čistá spotřeba tepla areálu FSI 13 922 GJ. Největší spotřeba tepla byla logicky v zimních měsících, a to konkrétně hned v lednu kdy jen lednová spotřeba tepla tvoří téměř 25 % z celkové spotřeby. Směrem k letním měsícům se spotřeba tepla samozřejmě snižuje a po dobu letních měsíců je na minimálních hodnotách. Od měsíce října nám zase narůstá spotřeba tepla z důvodu začátku topné sezóny.



Obrázek 33: Spotřeba tepla-nákup

V měsíčních odběrech vidíme, že během prvních 3 měsíců je spotřeba elektřiny v areálu vyšší. To je způsobeno tím, že dny jsou krátké a je nutné svítit celé dny. Můžeme vidět, že od dubna je už čistá spotřeba elektřiny téměř totožná každý měsíc, jedná se jen o malé odchylky od průměru.



Obrázek 34: Spotřeba elektřiny-nákup

Z programu pro měření spotřeby elektřiny areálu se používá program HMP v2.56. Z tohoto programu jsem již uváděl průběh spotřeby elektřiny v referenční dny. Lze zde také ale nahlédnout na čtvrt hodinové spotřeby. Nejnížší hodnota spotřeby elektřiny je 264 kWh. Tato nejnížší hodnota byla naměřena o letním víkendovém dnu (neděle). Vzhledem k tomu, že navrhujeme kogenerační jednotku tak, aby došlo k úplné spotřebě vyrobené elektřiny v areálu FSI, je tato spotřeba směrodatná pro návrh jednotky.

Dále je důležité nezapomínat na již nainstalované a provozované dvě fotovoltaické elektrárny. První, situována na střeše budovy C3, o instalovaném výkonu 20 kW_p. Druhá, instalovaná do boční stěny výškové budovy má instalovaný výkon 40 kW_p. Uvedené hodnoty jsou pouze instalovaný maximální výkon, ale obě fotovoltaické pole nesměřují přímo na jih, ale mají odklon od jižního směru zhruba 21°. Dále také víme, že díky stáří panelů na střeše C3 a díky svislé orientaci na stěně A1 bude skutečný výkon fotovoltaických panelů bude nižší.

Díky všem dostupným a uvedeným informacím budeme uvažovat kogenerační jednotky do elektrického výkonu 200 kW_e. Dobrou volbou se jeví jednotka Cento T200 od tuzemské firmy Tedom. Tuto jednotku jsme zvolili z důvodu, že se jedná o českou firmu se vskutku dlouholetou tradicí a prvotřídními zkušenostmi na celosvětovém trhu kogeneračních jednotek. Díky tomu že se jedná o „domácí“ firmu je také zaručen kvalitní a rychlý servis jednotky.

Mezi výhody kogeneračních jednotek řady Cento patří jednoduchá manipulace, nízký hluk a fakt, že jednotka je dodávána jako „vše v jednom“. Jednotky řady Cento T80-200 používají motor vyrobený a vyvinutý v Jablonci nad Nisou v továrně, kterou vlastní sama firma Tedom. Celá řada Cento je navržena tak, aby jednotlivé komponenty na sebe zapadaly jako u stavebnice. Celá jednotka je umístěna na rámu, kde je vlastní



Obrázek 35: Cento T200 [10]

motorgenerátor, elektrický rozvaděč a řada tepelných výměníků. Na čele jednotky je poznávací prvek řady Tedom Cento a to rozvaděč. Spodní část se skládá z tepelného modulu a olejového systému. Vrchní část je složena z motorgenerátoru a sacího systému vzduchu. [6]

Technické parametry Cento T200:

Elektrický výkon:	$P_{el} =$	200	[kW]
Tepelný výkon:	$Q_{max} =$	253	[kW]
Elektrická účinnost:	$\eta_{el} =$	39,2	[%]
Tepelná účinnost:	$\eta_{tep} =$	49,5	[%]
Celková účinnost:	$\eta =$	88,7	[%]
Spotřeba plynu:	$m_{pal} =$	54	[m ³ /hod]

Provoz kogenerační jednotky

Kogenerační jednotku budeme provozovat pouze v „zimním provozu“, a to z důvodu nedostatku odběru tepla v letních měsících. Celkový počet hodin provozu za rok je stanoven na 3000. Hodnota 3000 motohodin je limitní pro získání zeleného bonusu na vyrobenou elektřinu z KVET.

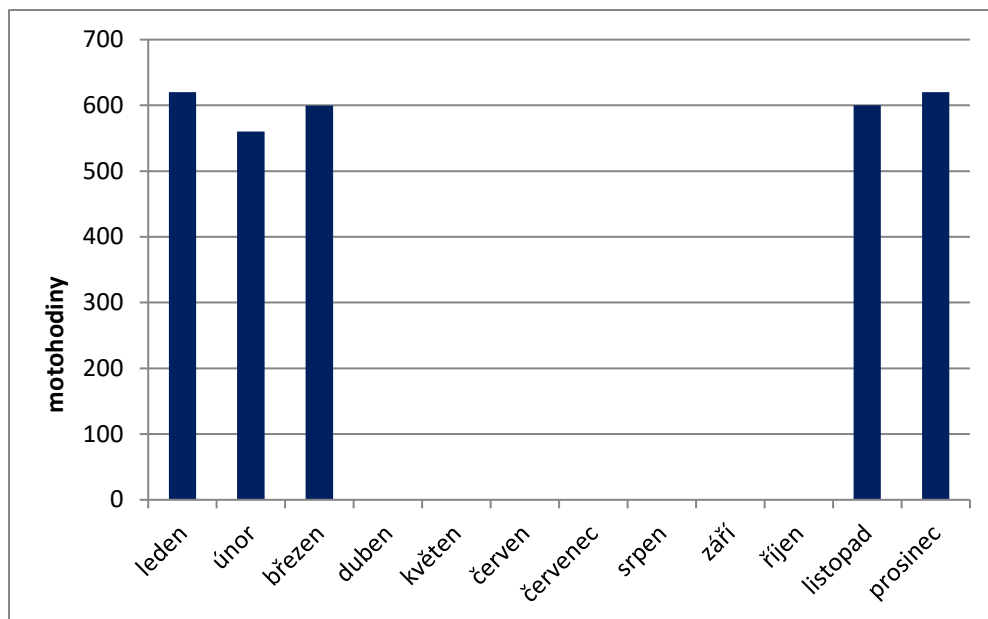
Výše zeleného bonusu na výrobu elektřiny z KVET pro kogenerační jednotky uvedené do provozu od 1.1.2016 do 31.12.2017 o výkonu (elektrickém) od 0 kW do 200 kW (včetně), která je v provozu 3000 hodin za rok, je stanovena na **1970 Kč/MWh** dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2 /2017 ze dne 29. března 2017, kterým se mění cenové rozhodnutí ERÚ č. 5/2016, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie, ve znění cenového rozhodnutí ERÚ č. 9/2016 a č. 11/2016. [7]

Nyní si uvedeme navrhované provozní hodiny jednotky v jednotlivých dnech každého měsíce:

Provozní hodiny KGJ			
	Denní provoz	Počet dní	Počet hodin provozu
	h/den	-	h
leden	20	31	620
únor	20	28	560
březen	19	31	600
duben	0	30	0
květen	0	31	0
červen	0	30	0
červenec	0	31	0
srpen	0	31	0
září	0	30	0
říjen	0	31	0
listopad	20	30	600
prosinec	20	31	620
Celkem			3 000

Tabulka 5: Provozní hodiny KGJ

Navrhujeme využití jednotky po dobu 3000 hodin za rok. To znamená, že bude nejvýhodnější provoz jednotky v zimních měsících, kdy je stálý odběr tepla. Jak jsme již uváděli výše, tak odběr tepla je na vysokých hodnotách zhruba do konce března a dále klesá až do června, kdy je spotřeba tepla téměř nulová. Spotřeba tepla narůstá od října, a od listopadu je zase na vyšších hodnotách. Volíme tedy provoz 20 hodin denně, 7 dní v týdnu v měsících s největším odběrem tepla, a to v lednu, únoru, listopadu a prosinci. Pro měsíc březen volíme provoz již jen 19 hodin denně, 7 dní v týdnu.



Obrázek 36: Doba provozu KGJ dle měsíců v roce

Podle výše navržených provozních hodin jednotky a pomocí technických parametrů naší zvolené jednotky (elektrický výkon a tepelný výkon) si můžeme dále spočítat podíl tepla a elektřiny vyrobené v kogenerační jednotce na dodávce tepla a elektřiny celého areálu FSI v jednotlivých měsících.

Podíl kogenerace na dodávce tepla				
	Celková potřeba tepla	Teplo dodané z KGJ	Teplo dodané z kotelen	Pokrytí potřeby TE z KGJ
	GJ	GJ	GJ	-
leden	3 411	565	2 846	17%
únor	1 963	510	1 453	26%
březen	1 725	546	1 179	32%
duben	881	0	881	0%
květen	79	0	79	0%
červen	23	0	23	0%
červenec	108	0	108	0%
srpen	139	0	139	0%
září	157	0	157	0%
říjen	824	0	824	0%
listopad	1 861	546	1 315	29%
prosinec	2 751	565	2 186	21%
Celkem	13 922	2 732	11 190	20%

Tabulka 6: Podíl kogenerace na dodávce tepla

Podíl kogenerace na dodávce elektřiny						
	Celková potřeba elektřiny	Elektřina dodaná z KGJ	Elektřina z KGJ pro vlastní spotřebu	Elektřina nakoupená ze sítě	Prodej přebytků elektřiny	Pokrytí potřeby EE z KGJ
	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	-
leden	1 055	446	446	608	0	42%
únor	1 026	403	403	623	0	39%
březen	947	432	432	515	0	46%
duben	738	0	0	738	0	0%
květen	680	0	0	680	0	0%
červen	734	0	0	734	0	0%
červenec	770	0	0	770	0	0%
srpen	749	0	0	749	0	0%
září	724	0	0	724	0	0%
říjen	763	0	0	763	0	0%
listopad	763	432	432	331	0	57%
prosinec	680	446	446	234	0	66%
Celkem	9 630	2 160	2 160	7 470	0	22%

Tabulka 7: Podíl kogenerace na dodávce elektřiny

Legenda k tabulkám č. 6 a 7:

Teplo dodané z jednotky se počítá dle vztahu:

$$Q_{\text{měsíc}} = \frac{Q_{\text{max}}}{1000} * 3,6 * \tau_{\text{měsíc}} \quad (2)$$

$$\text{Př. Leden: } Q_{\text{leden}} = \frac{Q_{\text{max}}}{1000} * 3,6 * \tau_{\text{leden}} = \frac{253}{1000} * 3,6 * 620 = 565 \text{ [GJ]}$$

Elektřina dodaná z jednotky se počítá dle vztahu:

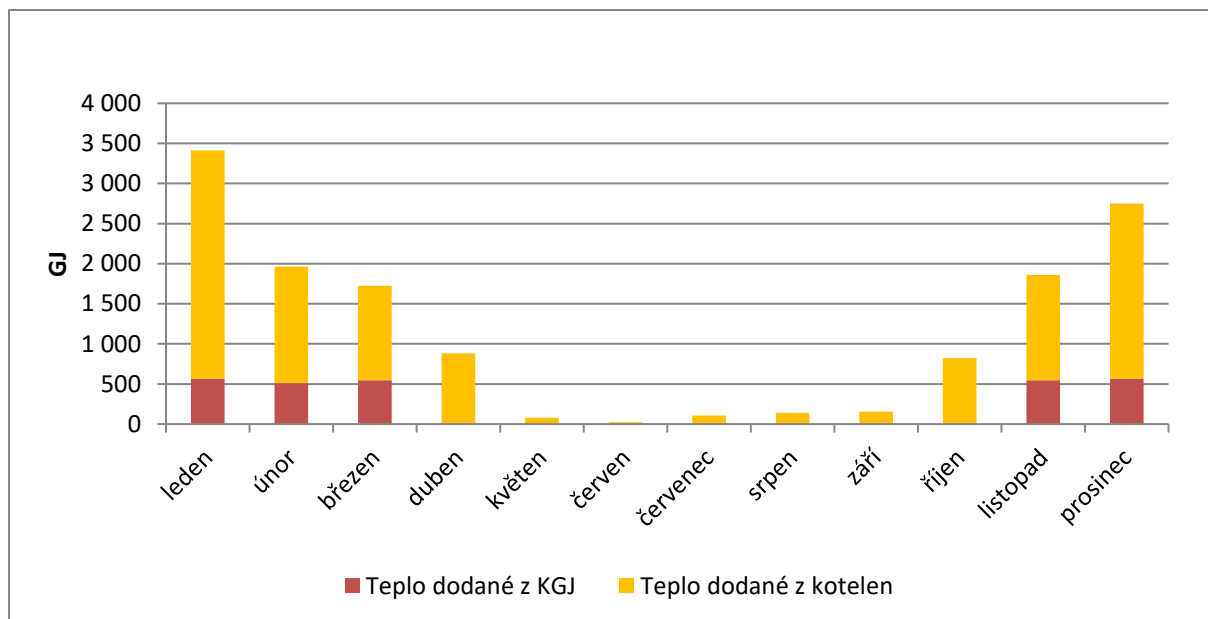
$$E_{\text{měsíc}} = \frac{P_{\text{el}}}{1000} * 3,6 * \tau_{\text{měsíc}} \quad (3)$$

$$\text{Př. Leden: } E_{\text{leden}} = \frac{P_{\text{el}}}{1000} * 3,6 * \tau_{\text{leden}} = \frac{200}{1000} * 3,6 * 620 = 446 \text{ [GJ]}$$

Další sloupec v tabulkách označen jako „Teplo dodané z kotelen“ („Elektřina nakoupená ze sítě“) už je jen rozdíl mezi hodnotami celkové spotřeby tepla (elektřiny) a vyrobeného tepla (elektřiny) v kogenerační jednotce.

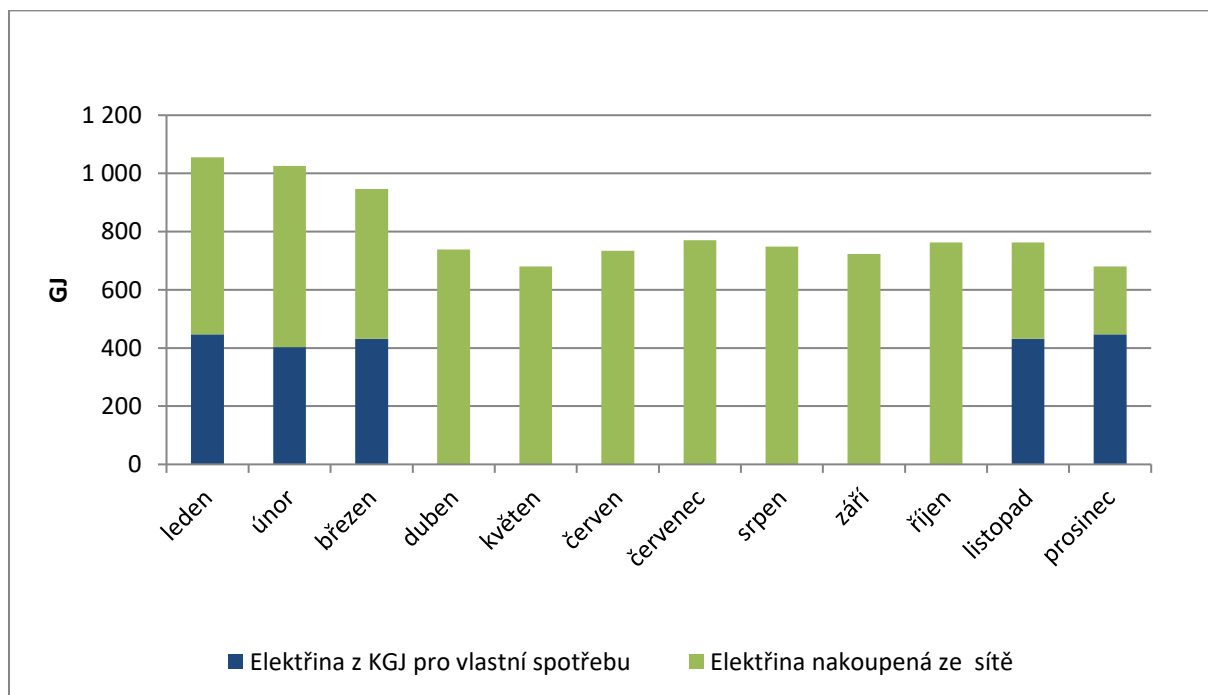
Obdobně je i sloupec poslední a to „Pokrytí potřeby tepla (elektřiny) z KGJ“, jedná se jen o procentuální pokrytí potřeby dané energie.

Pro přehlednost si nyní podíl kogenerace na dodávce tepla a elektřiny ve sloupcovém grafu. V následujících grafech lze vidět, zda je zvolená správná velikost kogenerační jednotky. Dodávka tepla z jednotky nikdy nepřekročí potřebu areálu a v našem případě také množství vyrobené elektřiny není vyšší než potřeba areálu.



Obrázek 37: Dodávka tepelné energie dle zdroje

V období provozu jednotky se každý měsíc poníží odběr tepla z centrálního zásobování o zhruba 550 GJ. V celkové roční spotřebě nám jednotka pokryje rovných 20 % z celkové spotřeby tepla areálu což je 2 732 GJ tepla.



Obrázek 38: Dodávka elektřiny dle zdroje

V případě spotřeby a produkce elektřiny nám jednotka v období svého provozu pokrývá větší procento spotřeby, než tomu bylo u tepla. Z důvodu větší stálosti spotřeby elektřiny nám ale roční pokrytí vychází velice podobně jako u tepla, konkrétně nám kogenerační jednotka pokryje 22 % spotřeby elektřiny.

Ekonomické zhodnocení kogenerační jednotky

měsíc	2016		
	Elektřina	Teplo	Plyn
	[MWh]	[GJ]	[m³]
celkem	2675	13922	5831
tis. Kč	4686	6798	89

Tabulka 8: Náklady za energie v roce 2016

Uvedeme si roční bilanci energií stávajícího stavu. Abychom zdůraznili dopady instalace kogenerační jednotky spalující zemní plyn budeme uvažovat, že spotřeba plynu v areálu FSI byla před instalací nulová. Dojde tak k lepší představě o změně spotřeb jednotlivých energií.

Roční bilance energií - STÁVAJÍCÍ STAV				
Elektrická energie				
Spotřeba elektřiny	9 630	GJ	2 675,00	MWh
Nakoupená elektřina	9 630	GJ	2 675,00	MWh
Tepelná energie na výstupu ze zdroje tepla				
Spotřeba tepla	13 922	GJ	3 867,22	MWh
Vyrobené teplo v kotlích	13 922	GJ	3 867,22	MWh

Tabulka 9: Roční bilance energií - stávající stav

Dále provedeme srovnání stávajícího a navrhovaného stavu (po instalaci kogenerační jednotky). Z tohoto důvodu si ještě jednou zopakujeme hodnoty spotřeb a dále také pro navrhovaný stav již i produkci jednotlivých energií.

Roční balance energií - NAVRHOVANÝ STAV				
Elektrická energie				
Spotřeba elektřiny	9 630	GJ	2 675,00	MWh
Vyrobená elektřina pro vlastní spotřebu	2 160	GJ	599,97	MWh
Prodáná elektřina	0	GJ	0,00	MWh
Nakoupená elektřina	7 470	GJ	2 075,03	MWh
Tepelná energie na výstupu ze zdroje tepla				
Spotřeba tepla	13 922	GJ	3 867,22	MWh
Dálkově dodané teplo	11 190	GJ	3 108,26	MWh
Vyrobené teplo v kotlích	0	GJ	0,00	MWh
Vyrobené teplo v kogenerační jednotce	2 732	GJ	758,96	MWh
Tepelná energie v palivu				
Účinnost předání dálkového tepla	100	%		
Účinnost výroby tepla v kotlích	96	%		
Účinnost výroby tepla v kogenerační jednotce	50	%		
Spotřeba tepla a zemního plynu	16 709	GJ	4 641,52	MWh
Spotřeba dálkového tepla	11 190	GJ	3 108,26	MWh
Spotřeba zemního plynu v kotlích	0	GJ	0,00	MWh
Spotřeba zemního plynu v kogenerační jednotce	5 520	GJ	1 533,26	MWh

Tabulka 10: Roční balance energií - navrhovaný stav

Účinností výroby tepla v kotlích se myslí účinnost kotlů, které dodávají teplo do rozvodů pro centrální zásobování teplem. Hodnota 96% je uvedena na stránkách Brněnské teplárny. [8] Hodnota účinnosti výroby tepla v kogenerační jednotce je odlišná od hodnoty uvedené výrobcem (49,5%) jen z důvodu zaokrouhlení hodnoty v tabulce.

Srovnání stávajícího a navrhované stavu:

Celková spotřeba energie:	GJ	MWh
stávající stav	23 552	6 542
navrhovaný stav	24 180	6 717
z toho:		
elektřina:	7 470,108	2 075,030
zemní plyn:	16 709,461	4 641,517

Tabulka 11: Celková spotřeba energie

Na první pohled se může zdát, že instalace kogenerační jednotky je nevýhodná z důvodu nárůstu celkové spotřeby energií. Princip je ale v tom, že došlo ke zvýšení spotřeby plynu, který je využit pro výrobu tepla a elektřiny. Zvýšení spotřeby plynu na úkor snížení odběru elektřiny a tepla z centrálního zásobování teplem je v konečném pohledu výhodné, jak si uvedeme v jedné z následujících tabulek, kde bude provedena kalkulace prosté návratnosti investice.

Nákupní ceny energií		
dálkové teplo	488,29	Kč/GJ
zemní plyn	403,79	Kč/GJ
	15,26	Kč/m ³
	1,45	Kč/kWh
elektřina	486,60	Kč/GJ
	1,75	Kč/kWh

Tabulka 12: Nákupní ceny energií

Legenda k tabulce č. 12:

Nákupní ceny energií byly spočítány jako podíl celkové ceny za teplo (elektřinu) ku celkovému množství spotřeby tepla/elektřiny. Pokud chceme mít všechny ceny za energie ve stejné jednotce [Kč/GJ] je potřeba u elektřiny a plynu provést další převodní výpočty.

U elektřiny se jedná o přepočtení z Kč/kWh na Kč/GJ. Toho docílíme pomocí následující rovnice:

$$\text{cena} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{GJ}} \right] = \text{cena} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{kWh}} \right] * \frac{1000}{3,6} \quad (4)$$

U plynu musíme převést jako první cenu z Kč/m³ na cenu Kč/kWh a nakonec ještě na Kč/GJ. U přepočtu z m³ plynu na kWh se používá orientační hodnota 10,5. Pro výpočty se využívá uvedených vztahů:

$$\text{cena} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{celková cena [Kč]}}{\text{celkové množství [m}^3\text{]} * 10,5} \quad (5)$$

$$\text{cena} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{GJ}} \right] = \text{cena} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{kWh}} \right] * \frac{1000}{3,6} \quad (6)$$

Ekonomické zhodnocení:

Investiční náklady - kogenerace				
Název položky	Množství	Jedn.	Cena / m.j.	Celkem [Kč bez DPH]
Kogenerační jednotka TEDOM Cento T200	1	kpl	3 300 000	3 300 000
Montáž, zapojení, doprava	1	kpl	660 000	660 000
Odvod spalin	0	bm	0	0
Přípojka plynu	0	m	0	0
Projekční práce	0	kpl	0	0
Rezerva	1	kpl	400 000	400 000
Celkem bez DPH				4 360 000

Tabulka 13: Investiční náklady

Poznámky k tabulce č. 13:

Cenu jednotky mi poskytla přímo firma TEDOM a jedná se o jednotku v kapotě (neplést si s odhlučněným kontejnerem). Náklady na montáž, zapojení a dopravu jsme volili jako 20% pořizovací ceny jednotky Cento T200. Jak již bylo řečeno, tak v areálu FSI byla v provozu starší kogenerační jednotka tudíž přípravy jako přípojka plynu a odvod spalin jsou již zhotoveny a není potřeba do nich investovat. Je zvykem nechávat rezervu pro nečekané výdaje. Tuto rezervu jsme volili zhruba 10% ze sumy všech předchozích investic. Celkové náklady bez DPH na pořízení kogenerační jednotky TEDOM Cento T200 do areálu FSI tudíž vycházejí na **4 360 000 Kč**.

Návratnost:

Roční ekonomická bilance			
	Stávající stav	Navrhovaný stav	
Celková investice na pořízení KGJ	---	4 360 000	Kč
Náklady na energie celkem	11 484 000	11 327 652	Kč
<i>Dálkové teplo</i>	6 798 000	5 463 858	Kč
<i>Zemní plyn</i>	0	2 228 807	Kč
<i>Elektřina</i>	4 686 000	3 634 987	Kč
Ostatní náklady celkem	0	198 000	Kč
<i>Regulované poplatky za lokální spotřebu</i>	0	0	Kč
<i>Provozní náklady na KGJ (servis a údržba)</i>	0	198 000	Kč
Výnosy celkem	0	1 181 941	Kč
<i>Tržby za prodej elektřiny</i>	0	0	Kč
<i>Zelené bonusy</i>	0	1 181 941	Kč
Bilance nákladů na energie	11 484 000	10 343 711	Kč
Úspora nákladů celkem	---	1 140 289	Kč
Prostá návratnost instalace KGJ	---	3,8	roky

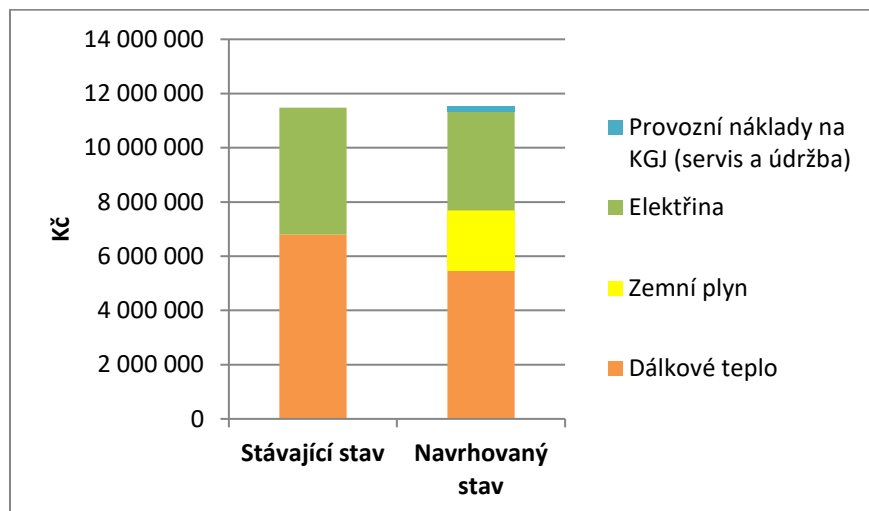
Tabulka 14: Roční ekonomická bilance

Poznámky k tabulce č. 14:

Ve výše uvedené tabulce jsme si ukázali roční ekonomickou bilanci po instalaci kogenerační jednotky. Tabulka je pro přehlednost rozdělena do 4 částí, kde se v každé části zobrazuje roční srovnání jednotlivých nákladů stávajícího a navrhovaného stavu. Cena za zemní plyn je u stávajícího stavu 0 Kč z důvodu přehlednosti změny nákladů na spotřeby energií.

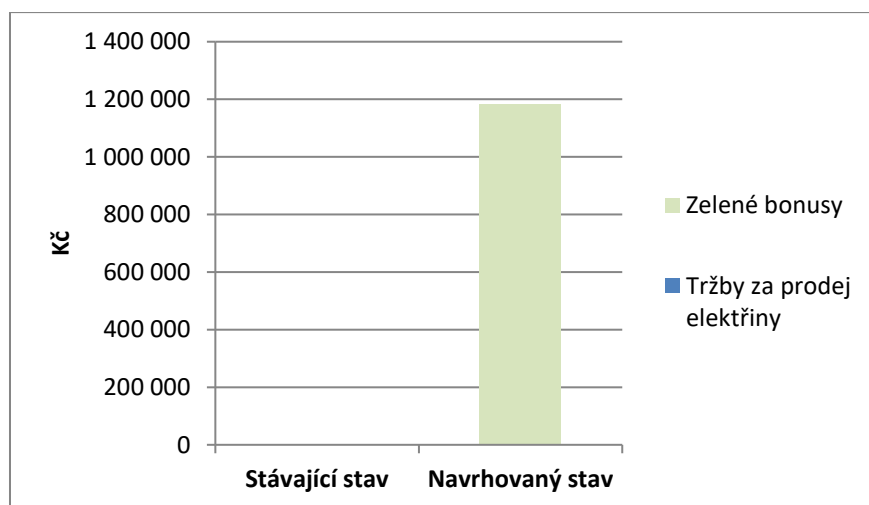
V první části tabulky se srovnávají celkové náklady na energie. Zemní plyn spotřebovaný v kogenerační jednotce je využit pro výrobu tepla a elektřiny, která se spotřebuje v areálu FSI. Díky tomu, že kupní cena za GJ plynu je nižší než kupní cena za GJ dálkového tepla či elektřiny dochází už v první části k finanční úspoře. Konkrétně by FSI ročně ušetřilo **156 348 Kč** (11 484 000 Kč – 11 327 652 Kč).

V další části si uvádíme ostatní náklady spojené s provozem kogenerační jednotky. Regulované poplatky za lokální spotřebu jsou v tabulce uvedeny, i když je nulový. Dříve byl totiž tento poplatek na podporu OZE povinný i u systému, který nedodává elektřinu do sítě. Tento poplatek byl ale k 1. 1. 2016 zrušen. Jediné náklady, které vzniknou s instalací a provozem jednotky jsou náklady na provoz. Tyto náklady jsou určeny výrobcem, a jsou pro naši jednotku stanoveny na 66 Kč/mth. Tato hodnota zahrnuje servis, údržbu, ale hlavně i generální opravu jednotky, která by se měla provést po 50 000 hodinách provozu. V našem případě, kdy je jednotka v provozu 3000 hodin ročně, jsou roční provozní náklady 198 000 Kč. [10]



Obrázek 39: Náklady na energie a provoz

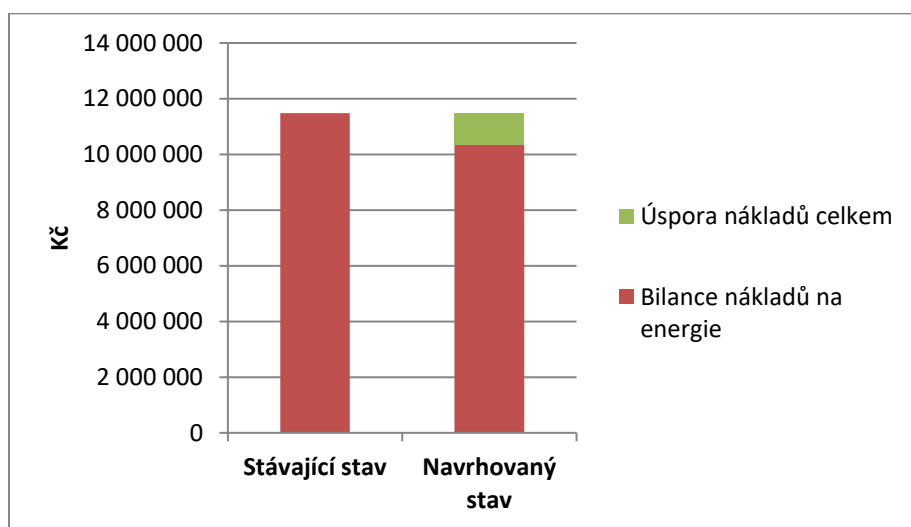
Třetí část tabulky se zabývá výnosy z provozu kogenerační jednotky. Je zde i řádek pro výnosy z prodeje elektřiny, ale u nás je jednotka navržena tak aby byla veškerá elektřina spotřebována v areálu FSI. Jediný výnos tudíž vzniká pobíráním zelených bonusů. Jak již bylo řečeno výše díky provozu jednotky 3000 hodin ročně a výkonu do 200 kWe (včetně) máme jako provozovatel jednotky nárok na zelený bonus ve výši 1970 Kč/MW vyrobené elektřiny. To v našem případě dává roční zelený bonus ve výši 1 181 941 Kč.



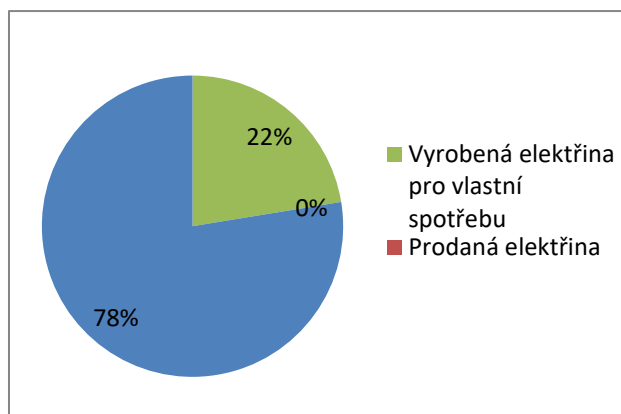
Obrázek 40: Výnosy

Jako poslední je uvedena celková roční úspora nákladů a prostá návratnost investice. Ročně by provozovatel (FSI) ušetřil **1 140 289 Kč** což má za následek prostou návratnost investice **3,8 roku**. Díky tomu se dá říci, že kogenerační jednotka TEDOM Cento T200 vhodná k instalaci pro zásobování areálu FSI. Výhodou kogenerační jednotky je, že za kvalitního servisu a po provedení generální opravy je vysoká životnost jednotky.

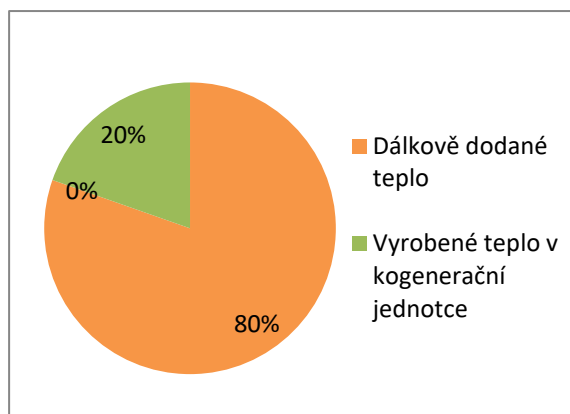
Na závěr si ještě zobrazíme roční bilanci, náklady a výnosy v grafech. Díky instalaci a provozu kogenerační jednotky dojde k celkové úspoře na nákladech za energii ve výši 9,9 % z původních nákladů. Jak již bylo řečeno, tak provoz kogenerační jednotky nám při provozu 3000 hodin ročně pokryje 22 % spotřeby elektřiny a rovných 20 % spotřeby tepla.



Obrázek 41: Celková bilance nákladů na energie



Obrázek 42: Bilance elektrické energie - navrhovaný stav



Obrázek 43: Bilance tepelné energie - navrhovaný stav

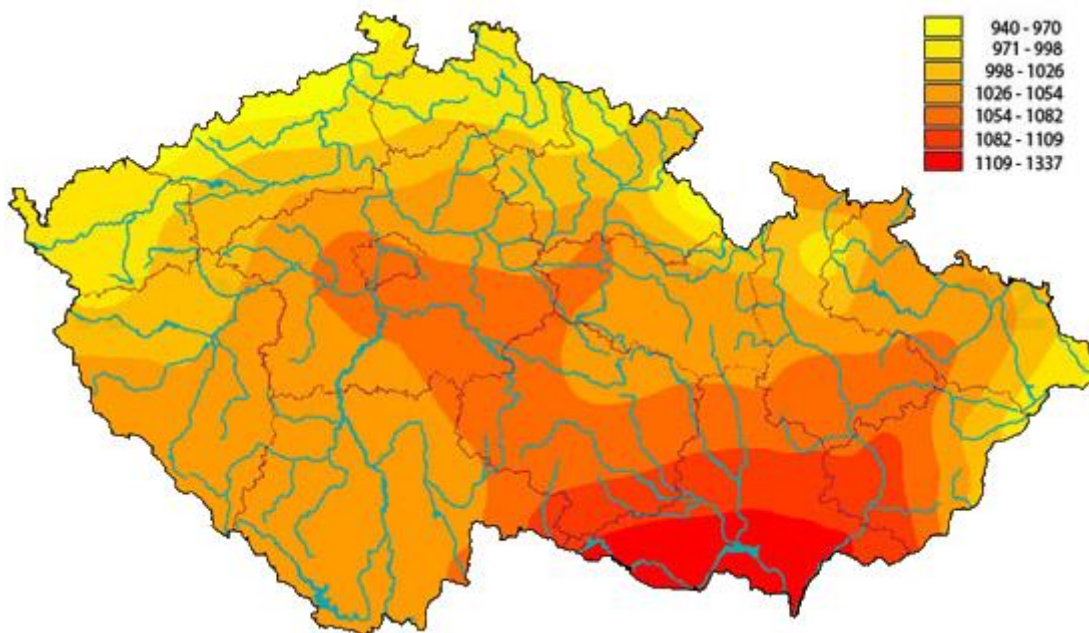
4.2.Varianta2: Návrh fotovoltaické elektrárny

Díky tomu, že je areál FSI napojen na centrální rozvod tepla z Brněnských tepláren, které poskytují kvalitní servis dodávky tepla, můžeme opomenout návrh lokálních zdrojů tepla, a soustředit se pouze na lokální zdroje elektřiny. Další variantou pro návrh lokálních zdrojů energie bude fotovoltaická elektrárna. Uvedeme si více možností instalace panelů. Pro výpočet bude využit výpočtový excel poskytnutý firmou CEVRE.

Data pro návrh fotovoltaické elektrárny

Umístění fotovoltaické elektrárny uvažujeme na střechách budov C1, C2 a C3. Střechy těchto budov jsou složeny ze světlíků, které nám dávají možnost instalace panelů přímo na konstrukci střechy, nebo na konstrukci pomocí které se dosáhne ideálního sklonu panelů. Na střeše budovy C3 již je v provozu malá fotovoltaická elektrárna o instalovaném výkonu 20 kW_p. Panely instalované na světlících by měli odklon on jižního směru přibližně 20°. Tento odklon je nutné zahrnout do výpočtů.

Bohužel z programu HMP regulátor v2.56 se nám podařilo jakožto roční výpis spotřeby elektřiny dostat jen celkovou spotřebu všech budov v areálu Technická 2. Tudíž ne pouze budov využívaných fakultou. To neznamená, že výpočet bude nepřesný, ale grafy uvedené spotřeby budou reprezentovat spotřebu všech budov v areálu Technická 2.



Obrázek 44: Sluneční záření ČR v kWh/m² [11]

Z výše uvedené mapy vidíme, že Brno se nachází v oblasti s intenzitou solárního záření 1082-1109 kWh/m². Pro výpočty volím průměr z těchto hodnot a to 1096 kWh/m².

Jako panely volíme AC-250P/156-60S od německého výrobce AXITEC. Tyto panely mají výkon (jeden panel) 250 W_p a účinnost přes 15 %. Jedná se o 60 článkové polykrystalické panely. Volíme německé kvalitní panely, které mají vysokou účinnost, 12 letou záruku na panel a dále také záruku od výrobce na výkon panelu po určité době. Konkrétně 15letou záruku na 90% jmenovitého výkonu, a také 25letou záruku výrobce na 85% jmenovitého výkonu. Rozměry panelu jsou 1640 x 992 x 40 mm. [9]

Měnič pro fotovoltaickou elektrárnu volíme PowerGate Plus 100kW od firmy Satcon. Jedná se o robustní měnič určený pro komerční či velkokapacitní provozy. Nabízí širokou možnost monitoringu. Monitoring by se mohl napojit do kanceláře energetika fakulty. Další výhodou tohoto měniče je vysoká účinnost, a to 93,1 % při 100 % výkonu. Měnič volíme naschvál 100 kW, protože počítáme s tím že by se naše rozsáhlé pole, které bude mít celkový instalovaný výkon vyšší než 100 kW_p rozdělí na více částí. Navrhujeme rozdělit pole na více částí po instalovaném výkonu 100 kW_p. [10]



Obrázek 45: Fotovoltaický panel Axitec [12]

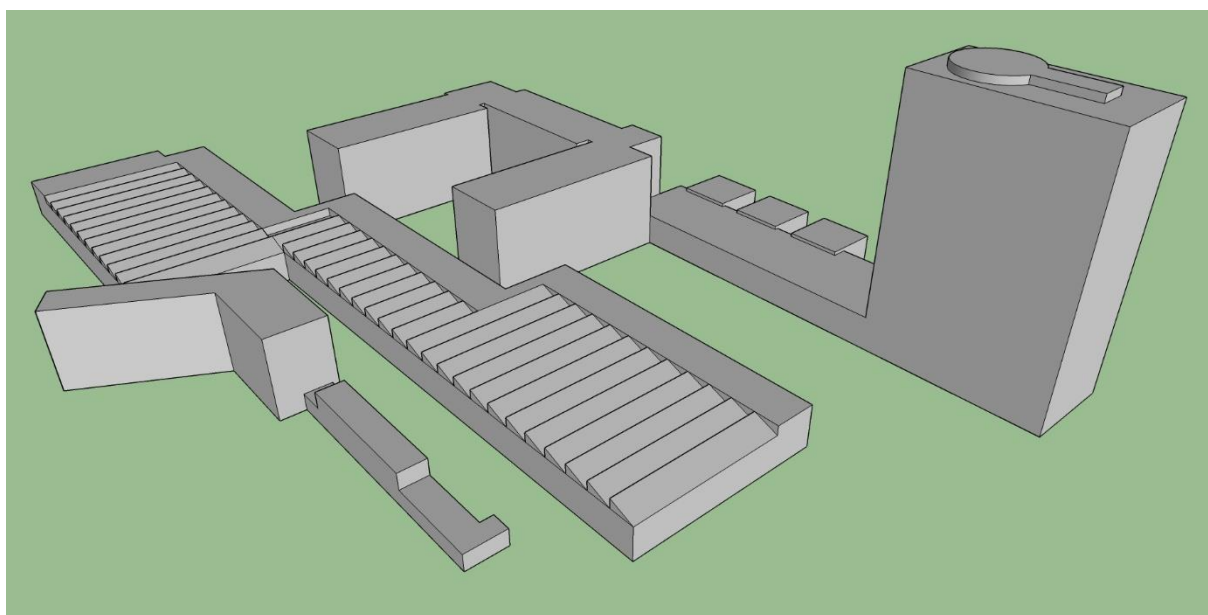


Obrázek 46: Měnič PowerGate Plus 100 kW [13]

Pro přehlednost a simulaci stínění jsme si vypracovali model areálu FSI, kde jsme se soustředili hlavně na budovy C1, C2 a C3 a okolní budovy vyšší, které mohou způsobit zastínění fotovoltaické elektrárny.



Obrázek 47: Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [14]



Obrázek 48: Areál FSI

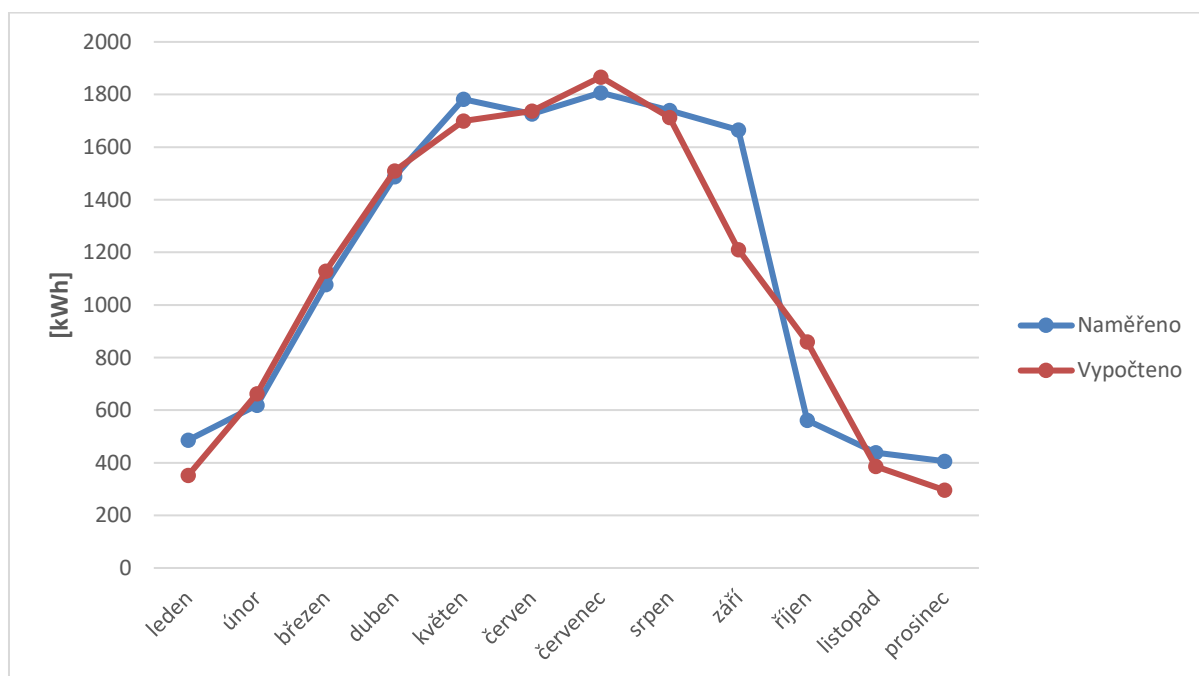
Ověření přesnosti výpočtu:

Díky tomu, že na střeše budovy C3 již je v provozu fotovoltaická elektrárna, ze které máme hodnoty vyrobené elektřiny můžeme provést kontrolu přesnosti našeho výpočtového excelu. Jak již bylo řečeno instalovaný výkon je 20 kW_p, panely jsou odkloněny od jižního směru o zhruba 21° a leží na konstrukci, která zvedá panely do sklonu 30°.

Naměřeno		Vypočteno		Rozdíl
rok 2016	kWh	rok 2016	kWh	Δ [%]
leden	486	leden	353	-27,45%
únor	619	únor	662	6,95%
březen	1077	březen	1129	4,83%
duben	1488	duben	1509	1,43%
květen	1782	květen	1699	-4,67%
červen	1726	červen	1737	0,64%
červenec	1807	červenec	1867	3,30%
srpen	1740	srpen	1713	-1,54%
září	1665	září	1210	-27,34%
říjen	561	říjen	860	53,31%
listopad	438	listopad	386	-11,78%
prosinec	406	prosinec	296	-27,11%
Celkem	13795	Celkem	13421	-2,71%

Tabulka 15: Srovnání naměřené a vypočtené produkce elektřiny

Do výpočtu jsme také zahrnuli snížení účinnost panelů z důvodu, že nainstalované panely jsou již starší. Můžeme vidět, že náš excel se od skutečnosti liší více v zimních měsících, ale celkovém srovnání se produkce reálná a vypočtená liší jen o 2,7%. Z tohoto důvodu můžeme říci, že tento excel by se dal použít jako podklad pro návrh další fotovoltaické elektrárny. Přikládám také graf pro názorné srovnání.



Obrázek 49: Srovnání naměřené a vypočtené produkce elektřiny

Fotovoltaická elektrárna na budově A1:

Během rekonstrukce budovy A1 došlo také k instalaci FVE na jihovýchodní stěnu této budovy. Tento systém má instalovaný výkon 40 kW_p a bohužel postrádá jakoukoli formu dálkového měření své produkce elektřiny. Do budoucna by bylo vhodné nainstalovat měřicí systém na tuto FVE, aby vznikl přehled a historie produkce elektřiny z tohoto systému. Provedli jsme odečty z instalovaného elektroměru v týdenním intervalu. V měsíci dubnu byla průměrná týdenní produkce elektřiny zhruba 100 kWh denně což nám dává měsíční produkci 3 000 kWh. Bohužel náš výpočtový excel neobsahuje možnost výpočtu pro panely instalované svisle k zemi. Odhadovanou měsíční a celkovou produkci si spočítáme na internetové stránce „<http://re.jrc.ec.europa.eu>“, která poskytuje možnost výpočtu svisle orientovaných panelů.

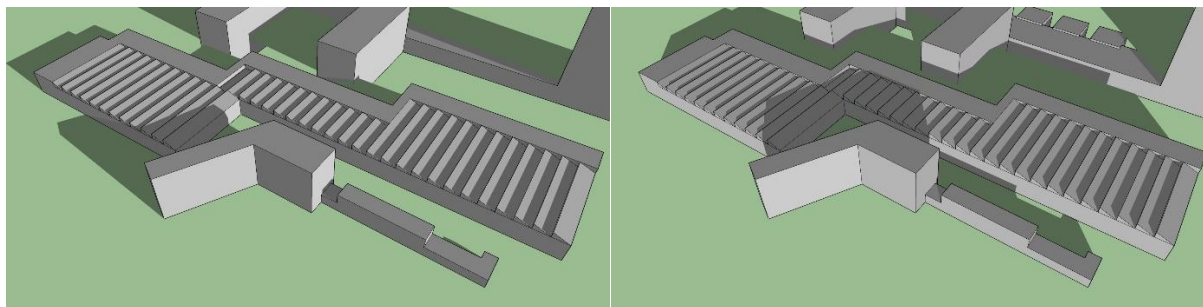
	Produkce FV systému
	[kWh]
Leden	1150
Únor	1700
Březen	2800
Duben	3070
Květen	2650
Červen	2400
Červenec	2570
Srpen	2810
Září	2640
Říjen	2190
Listopad	1260
Prosinec	903
Celkem	26143

Tabulka 16: Produkce FVE na budově A1 [11]

Námi naměřená měsíční produkce činila 3000 kWh za měsíc duben a dle výpočtů na stránce „<http://re.jrc.ec.europa.eu>“ systém měl dodat 3070 kWh. Tím pádem můžeme považovat produkci FVE vypočtenou pomocí této stránky jako hodnotné a dá se předpokládat, že systém bude skutečně dodávat dané hodnoty produkce elektřiny v reálu.

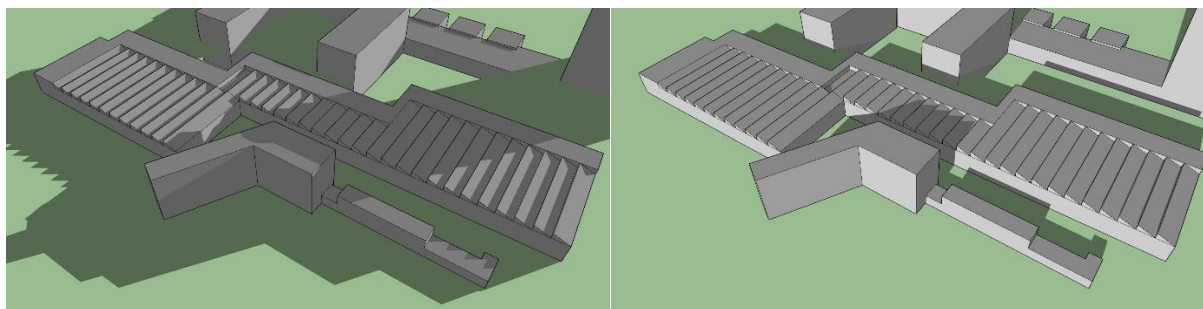
Stínění:

Bohužel budovy C1, C2 a C3 jsou umístěny mezi vyššími budovami (A1 a TI2) tudíž bude vznikat stínění od těchto budov v určitých časových intervalech. Ukážeme si stínění ve 4 referenčních dnech a to: nejkratší den v roce (21.12), nejdelší den v roce (21.6), jarní den (21.3) a podzimní den (21.9). Je nutné zdůraznit, že budou zobrazeny nejhorší varianty zastínění, ke kterým bude doplněn časový interval, po který jsou panely stíněny.



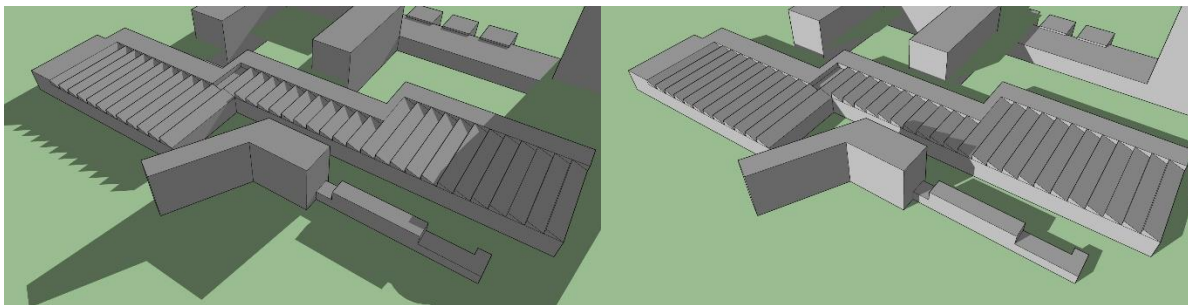
Obrázek 50: Nejkratší den v roce (21.12)

Zobrazené časy jsou 11:00 na fotce vlevo a 14:00 na fotce napravo. Jedná se o nejkratší den v roce a ke stínění dochází od budovy TI2. Ke stínění dochází v průběhu celého dne, konkrétně v časovém intervalu 9:00 – 12:00 dochází ke stínění pouze malé části střechy C3. V čase od 12:00 do 15:30 (západ slunce) už je stíněna C1 a střecha C2, ale zato ve větší míře. Jedná se ale o zimní den, kdy intenzita dopadajícího záření není tak vysoká jako v ostatní roční období.



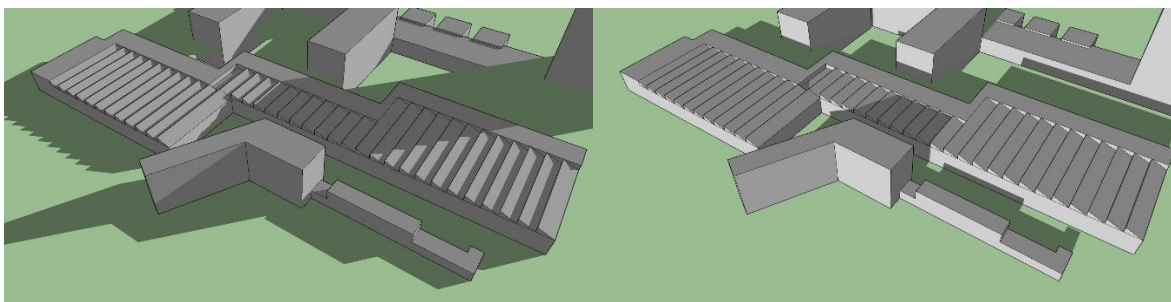
Obrázek 51: Jarní den (21.3)

Během jarního dne jsme si ukázali stínění v čase 7:30 (nalevo) a 16:00 napravo. Budova A1 stíní na části střech C1 a C2 pouze po dobu 2 hodin ráno (6:30 – 8:30). V odpoledních hodinách dochází ke stínění střechy C2 od budovy TI2, a to v čase od 14:30 do 16:30 (téměř po západ slunce). I zde dochází ke stínění v období, kdy intenzita dopadajícího záření není na vysokých hodnotách.



Obrázek 52: Letní den (21.6)

Dále máme letní den (21.6), který je zároveň nejdelším dnem v roce. Levý obrázek je pro čas 6:30 a napravo máme zobrazenou situaci v 17:00. Po východu slunce nám stíní budova A1 na střechu C1 do času 7:30. Dále nám odpoledne od 16:30 do západu slunce stíní budova TI2 na střechu C2. Je důležité poznamenat, stínění těsně po východu slunce a taktéž těsně před západem slunce tolik neovlivní produkci elektřiny z panelů, protože intenzita dopadajícího záření již není tak vysoká.



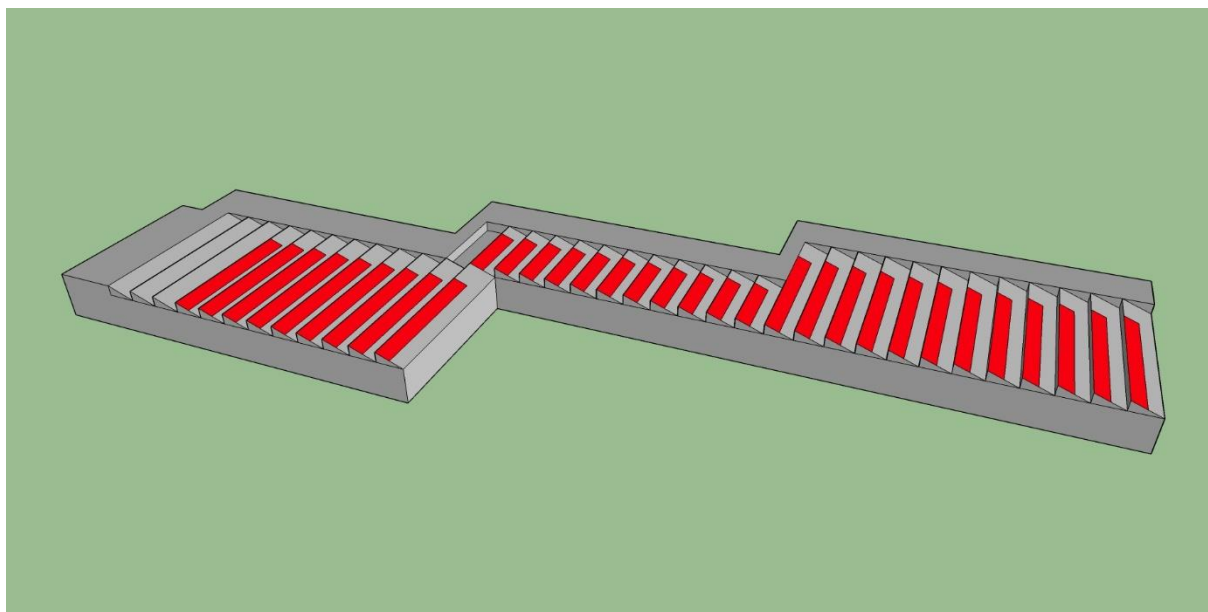
Obrázek 53: Podzimní den (21.9)

Jako poslední zde máme podzimní den (21.6) a zase jsme na ukázkou zvolili ranní hodiny (7:45 vlevo) a odpolední hodiny (16:00 vpravo). I zde se opakuje situace, že po východu slunce nám stíní A1 na střechy C2 a C3. Stín od budovy A1 přestává dopadat na oblast, kde se budou nacházet panely v 8:15. V odpoledních hodinách nám bude stínit TI2 na střechu C2 zhruba od 14:30 až do západu slunce 17:00

Možnost 1 – panely přímo na světlíku:

Volba umístění a orientace panelů

Jako první si provedeme návrh, kdy by panely byly umístěny přímo na jednotlivých světlících, tudíž by byly pod sklonem 21° . Tím, že sklon panely není ideální ($35-45^\circ$) je účinnost panelu o něco nižší.



Obrázek 54: Možnost 1

Na výše zobrazeném obrázku jde vidět náš návrh fotovoltaického pole, které se pro přehlednost nabarvilo do červené barvy. Dále je také nevyužita celá délka světlíků, první důvod je ten, že světlíky jsou pod úrovní střech budov B. Druhý důvod je, že na koncích světlíků směrem k budovám B je na střeše C3 je vzduchotechnika, a na střeše C1 jsou komíny. Také nám to poskytuje rezervu plochy, kvůli několika komínům, které nejsou u kraje světlíků. Nyní si uvedeme přesné rozměry ploch, které jsme zvolili pro instalaci panelů.

Jedná se o maximalistické řešení, kdy jsou panely nainstalované na každém volném světlíku. Je možnost instalace panelů například na každý druhý světlík, či pouze jednoho panelu na šířku jedné řady. Tuto maximalistickou variantu řešíme z důvodu, zda by nebylo produkce elektřiny z panelů přesažena spotřeba areálu či nikoli. Stejně jako v návrhu kogenerační jednotky i zde se snažíme, aby se veškerá vyprodukovaná elektřina spotřebovala přímo v areálu FSI.

Počet dlouhých řad	21
Délka řady	30 m
Šířka řady	3,3 m

Počet krátkých řad	11
Délka řady	15 m
Šířka řady	3,3 m

Celková plocha **2623,5 m²**

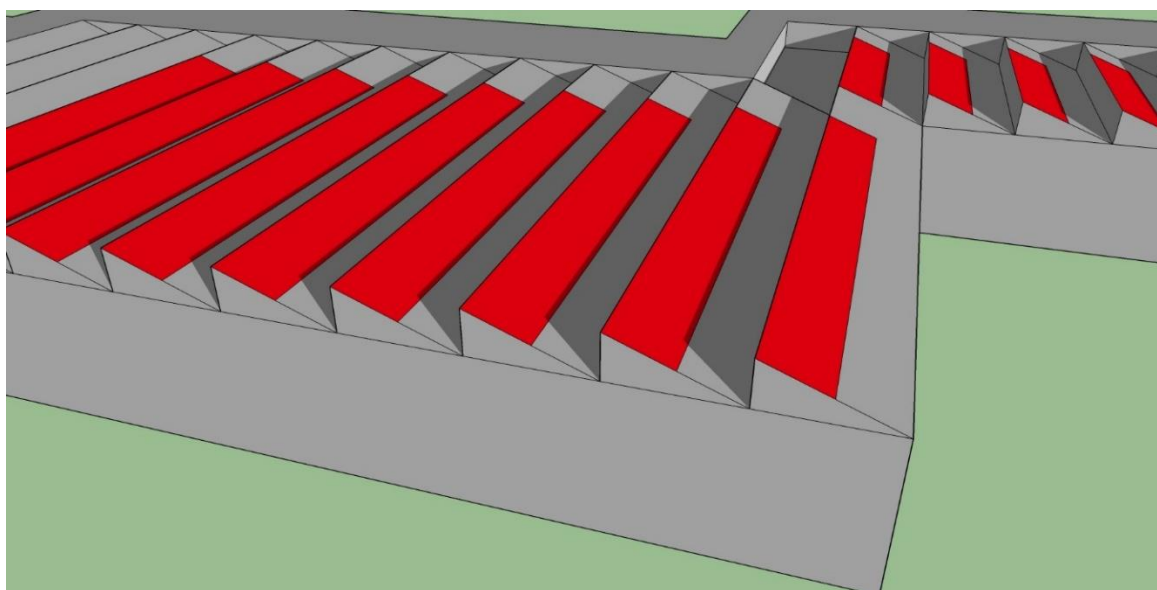
Výpočet velikosti a parametrů FVE

Volíme si 2 panely na šířku jedné řady, a díky tomu že délka krátké řady je přesně poloviční, než délka řady dlouhé můžeme uvažovat, že místo 11 řad krátkých je zde dalších 5,5 řad o délce 30 metrů. To nám dává následující počty panelů a rozměry:

Parametry solárního systému:	POLE 1
Globální záření na orientovanou plochu	1 146
Název FV panelu:	AC-250P/156-60S
Šířka panelu:	0,992 m
Délka panelu:	1,64 m
Počet panelů na šířku:	30 ks
Počet panelů na délku:	53 ks
Celá DÉLKA pole:	29,76 m
Celá VÝŠKA pole:	86,92 m
Účinná plocha 1 FV panelu:	1,46 m ²
Počet panelů:	1590 ks
Celková účinná plocha:	2321,65 m²
Účinnost panelů	15,37 %
Účinnost měniče	96,00 %
Účinnost rozvodů	99 %
Jmenovitý výkon 1 panelu	250 W _p
Jmenovitý výkon celkem	397500 W_p

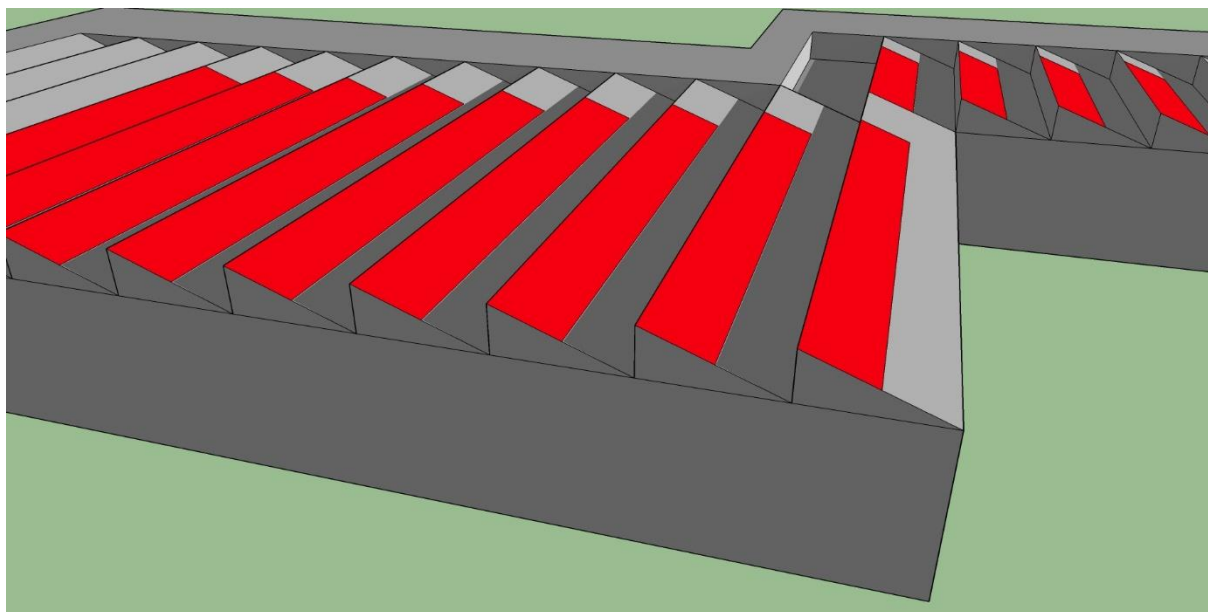
Tabulka 17: Parametry solárního systému – možnost 1

Ve výše uvedené tabulce jsou vstupní hodnoty označeny červeným písmem. Díky celkové využitelné ploše (2623,5 m²) pro instalaci panelů dostáváme FVE o instalovaném výkonu 397,5 kW_p. Dále si ukážeme důvod, proč volíme zrovna dva panely nad sebou na šířku jednoho pole:



Obrázek 55: Nejkratší den v roce 21.12

Na výše uvedeném obrázku je jasně vidět důvod, proč počítáme s instalací pouze 2 panelů nad sebou na jednom světlíku. Je nutné podotknout, že na obrázku je ukázána nejhorší varianta, a to nejkratší den v roce (21.12) a v drtivé většině dní nedojde ani k již tak minimálnímu zastínění. Pro ukázkou si ukážeme například 2. únor ve stejný čas (11:00). Opět volíme zimní den, kdy je slunce níže než v letních měsících.



Obrázek 56: Únorový den 2.2

Bilance spotřeby elektřiny:

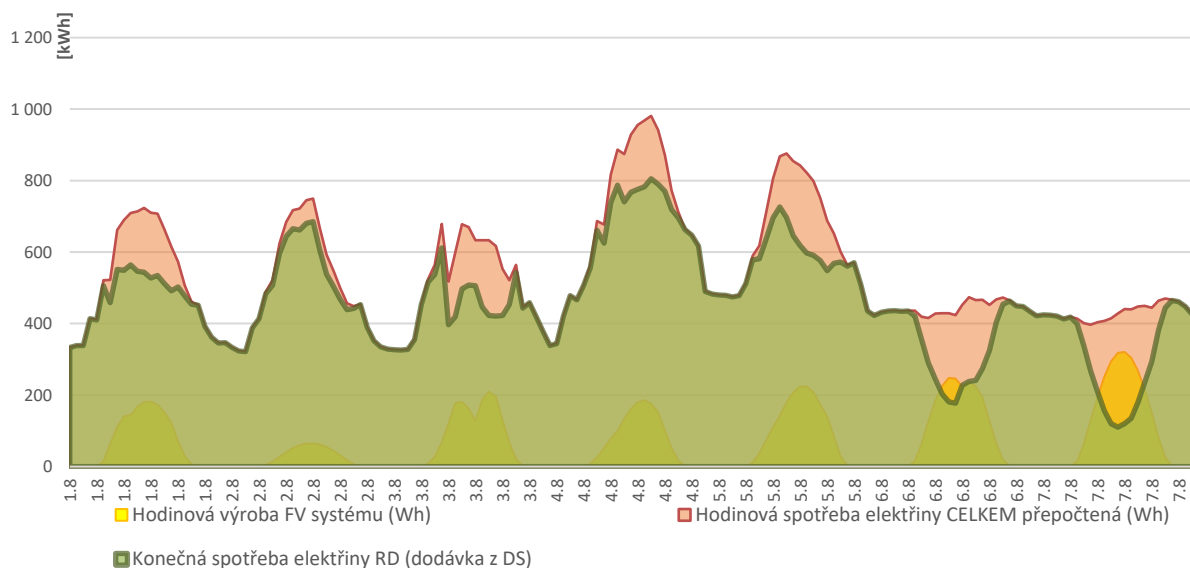
Cena za elektrickou energii odebranou z distribuční sítě byla již spočítána při návrhu kogenerační jednotky. Počítáme tedy s cenou 1,75 Kč/kWh.

	Produkce FV systému	Spotřeba elektřiny	Dodávka z DS	Úspora nákladů
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[Kč]
Leden	10214	384068	373854	17875
Únor	19178	379377	360199	33562
Březen	32706	398509	365803	57236
Duben	43724	358795	315071	76516
Květen	49171	376716	327545	86049
Červen	50320	397776	347456	88060
Červenec	54025	394172	340147	94544
Srpen	49630	382731	333101	86853
Září	35048	395377	360329	61334
Říjen	24916	412101	387185	43604
Listopad	11193	426821	415628	19588
Prosinec	8573	380501	371928	15003
Celkem	388699	4686944	4298245	680223

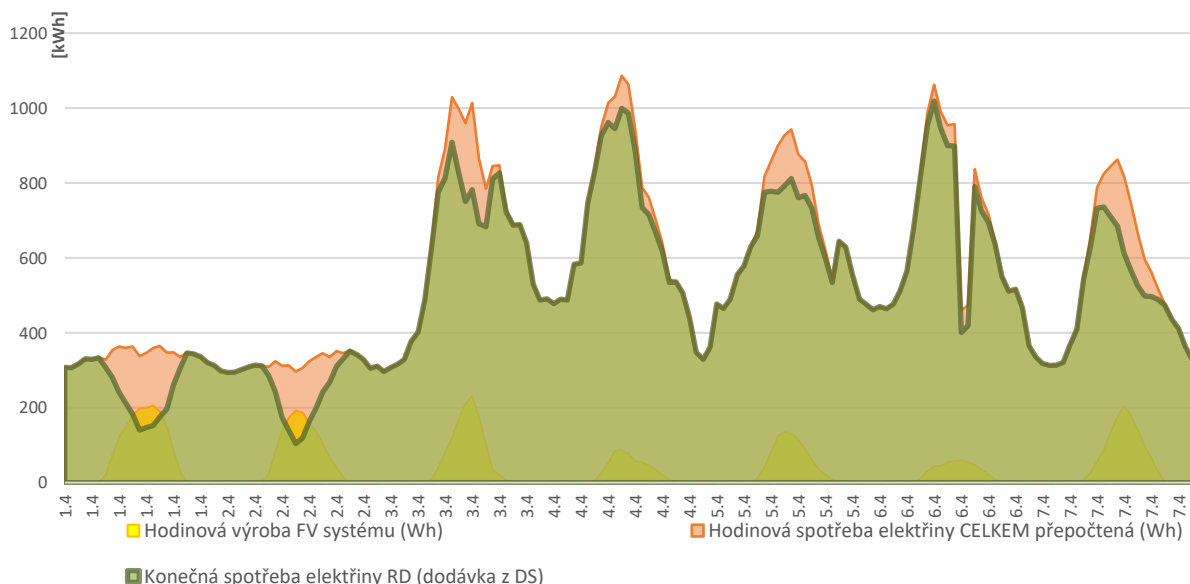
Tabulka 18: Bilance spotřeby elektřiny – možnost 1

Na rozdíl o kogenerační jednotky, fotovoltaická elektrárna má větší přínos v letních měsících, kdy je intenzita dopadajícího slunečního záření na vysokých hodnotách. Měsíční úspory na spotřebě elektřiny rostou až do července a poté se zase snižují až do konce roku. Instalace fotovoltaické elektrárny této velikosti by znamenala pro fakultu snížení nákladu na elektřinu za rok o **680 223 Kč**.

Pro grafické srovnání si vybereme reprezentativní týdny v roce. Pro letní období volíme první týden v srpnu. Týden v přechodném období (mezi zimou a létem) jsme zvolili první týden v dubnu. A jakožto zimní týden padla volba na první týden v roce (v lednu).

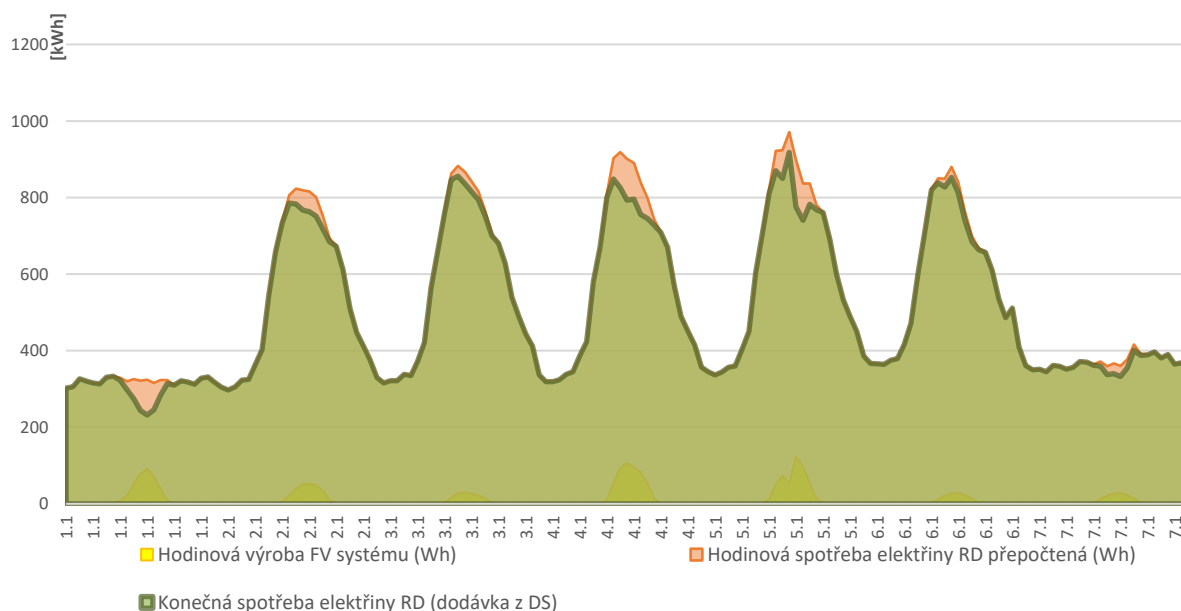


Obrázek 57: Hodinová výroba a spotřeba elektřiny [kWh] v letním období – možnost 1



Obrázek 58: Hodinová výroba a spotřeba elektřiny [kWh] v přechodném období – možnost 1

Na uvedených grafech lze vidět, že ani v letním období během víkendových dní nepřekročí produkce elektřiny z fotovoltaické elektrárny spotřebu areálu. Naš cíl o 100 % využitelnosti vyprodukované elektřiny je tudíž splněn. Díky tomu, že pracovní doba během týdne je v období, kdy svítí slunce, dochází tedy k největší produkci elektřiny během využívání areálu (s výjimkou víkendových dnů).



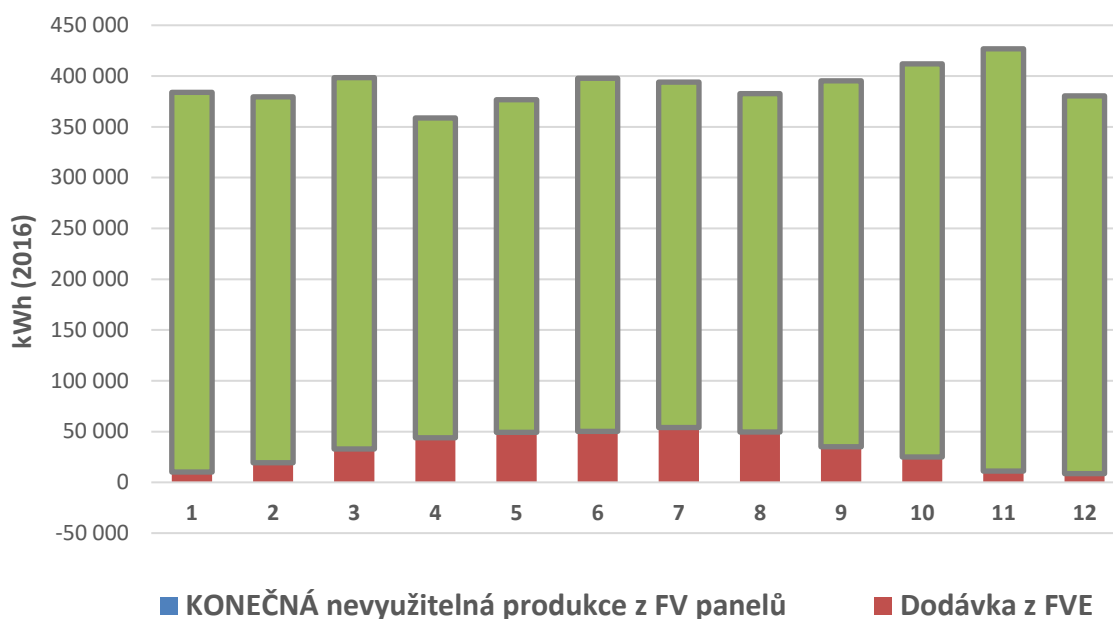
Obrázek 59: Hodinová výroba a spotřeba elektřiny [kWh] v zimním období – možnost 1

Dále si ukážeme energetickou bilanci po instalaci systému, pokrytí spotřeby elektřiny po měsících a na konec také odhadneme cenu instalace a návratnost investice do fotovoltaické elektrárny o těchto parametrech.

Výsledky výpočtu		
Celková spotřeba elektrické energie		4 686 944 kWh
Celková využitelná produkce elektrické energie z FVE v budově		388 699 kWh
z toho:	Využitá energie přímo z panelů do areálu	388 699 kWh
Konečné množství elektrické energie dodané z DS		4 298 245 kWh
Procento využití celkové produkce FVE		100,0 %
Procento pokrytí vlastní spotřeby pomocí FVE		8,3 %

Tabulka 19: Výsledky výpočtu možnosti 1 FVE

Jak můžeme vidět naše fotovoltaická elektrárna o instalovaném výkonu 397,5 kW_p nám pokryje 8,3 % celkové spotřeby elektřiny. Našich 8,3% z celkové spotřeby elektřiny znamená, že námi navrhnutá fotovoltaická elektrárna dodá za rok 388 699 kWh. Dále také nikdy nedojde, že by byla produkce elektřiny z panelů vyšší než spotřeba areálu, tudíž se spotřebuje celých 100 % z produkce FVE a můžeme tuto variantu považovat jako možný reálný projekt.



Obrázek 60: Balance spotřeby elektřiny a výroby FVE – možnost 1

Cena FVE a návratnost investice

V cenové nabídce na fotovoltaickou elektrárnu se většinou uvádí cena ve formě Kč/kW_p. Tato cena bývá v rozmezí 27 000 – 30 000 Kč/kW_p s tím, že čím větší je instalovaný výkon FVE tím nižší bývá cena za jednu kW_p instalovaného výkonu. Výši nákladů na závěsný systém pro stojany, montáž, kabeláž a další úkony spojené s instalací fotovoltaické elektrárny odhadujeme z reálných cenových nabídek na tyto systémy.

	ks	jednotková cena bez DPH [Kč]	Celkem [Kč]
panely	1590	3980	6328200
stojan (pro 2 panely)	795	1300	1033500
měníč	4	780000	3120000
kabeláž, montáž a další	-	800000	800000
cena za 1 kWp			28 382
výše investice			11 281 700

Tabulka 20: Investiční náklady na pořízení FVE – možnost 1

Roční ekonomická bilance			
	Stávající stav	Navrhovaný stav	
Celková investice na pořízení FVE	---	11 281 700	Kč
Náklady na elektřinu	8 202 152	7 521 929	Kč
Úspora nákladů celkem	---	680 223	Kč
Prostá návratnost instalace FVE	---	16,6	roky

Tabulka 21: Návratnost investice do FVE – možnost 1

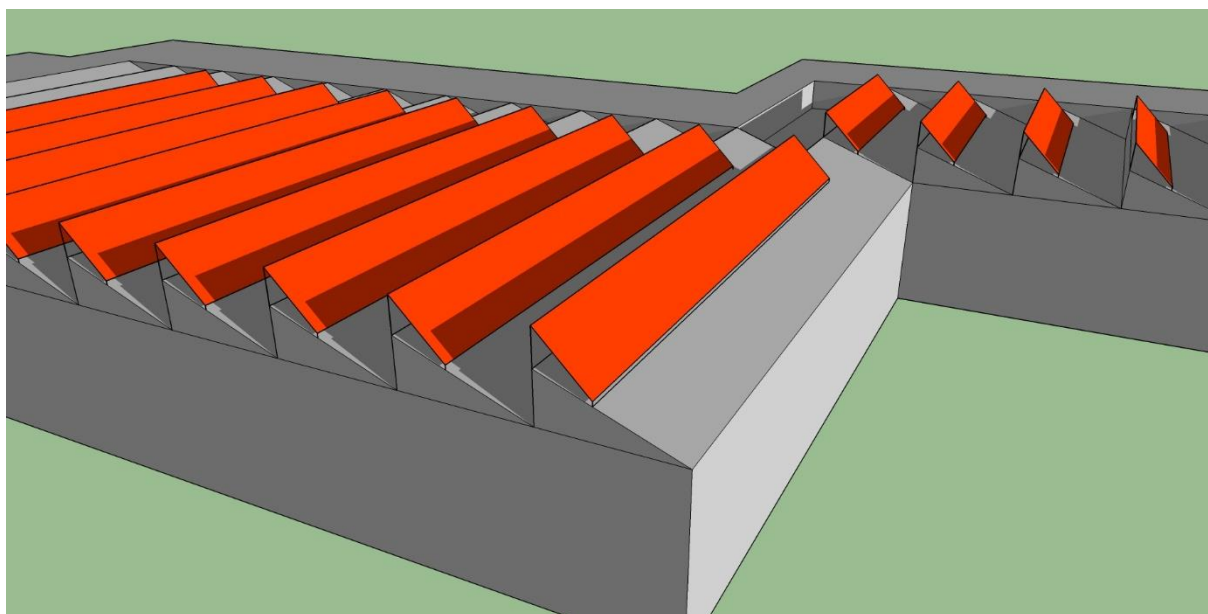
Celková výše investice do fotovoltaické elektrárny, která by pokrývala všechny světlíky na střechách budov C1, C2 a C3 dosahuje hodnoty 11 281 700 Kč. V této ceně jsou již zahrnuty všechny dodatečné materiály a služby ke zprovoznění systému. 1 kW_p instalovaného výkonu by nás vyšel na 28 382 Kč bez daně. Tato maximalistická varianta by ročně ušetřila 680 223 Kč a prostá návratnost investice je 16,6 let. Je nutné také uvažovat se stárnutím panelů a tím způsobeným poklesem účinnosti. Námi vybrané panely ale mají garantováno, že panely budou mít stále nejméně 90% jmenovitého výkonu po 15 letech provozu. Otázkou zůstává, zda se fakultě vyplatí investovat do systému FVE nebo do kogenerační jednotky, která vyžaduje menší počáteční náklady pro pořízení a také má menší dobu návratnosti.

Možnost 2 – panely umístěné na konstrukci poskytující sklon 45°

Pro srovnání produkce elektřiny z FVE o jiném sklonu panelů, než tomu bylo doposud provedeme další výpočet. Následující výpočet dále srovnáme s první maximalistickou variantou FVE. Srovnání uděláme jak vzhledem k produkci elektřiny, tak i vzhledem k investici a návratnosti těchto dvou variant.

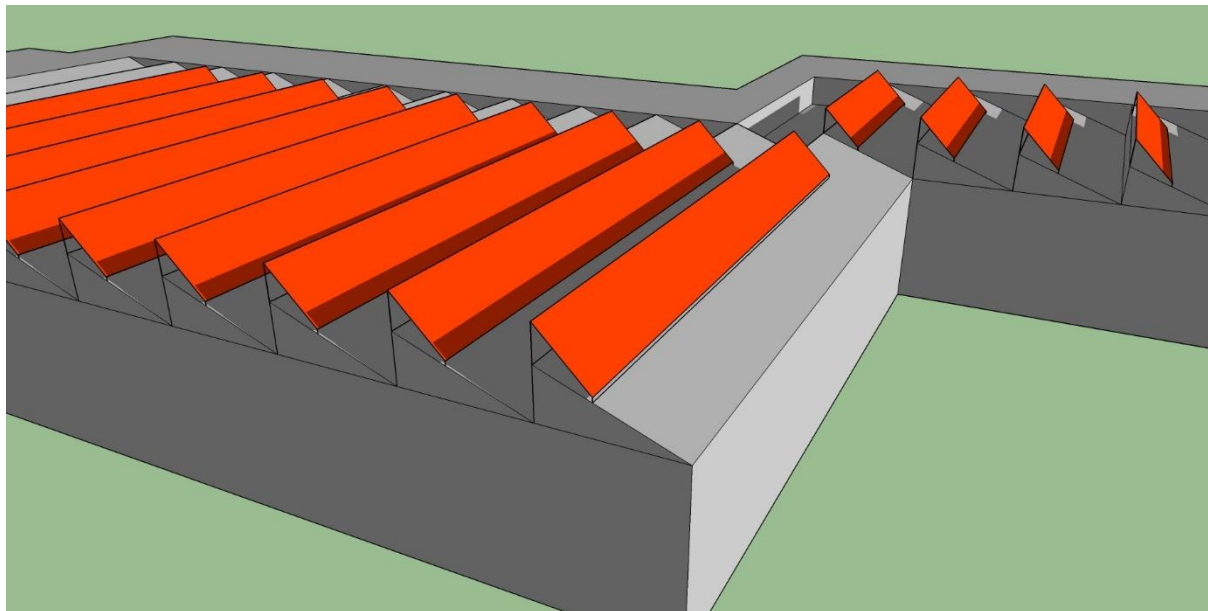
Volba umístění a orientace panelů

Nyní se budeme navrhovat případ, kdy panely neleží přímo na světlíků, ale umístí se na konstrukce, které panelům poskytnou vzhledem k účinnosti přívětivější sklon (45°). Je nutné si ověřit, zda nedojde ke stínění vzhledem k „zvednutí“ panelů. Je možné že díky umístění panelů na konstrukce dojde k zastínění následující řady panelů. Provedeme si kontrolu stínění v nejkratší den v roce (21.12) a také jako v předchozím příkladu i během zimního dne (2.2).



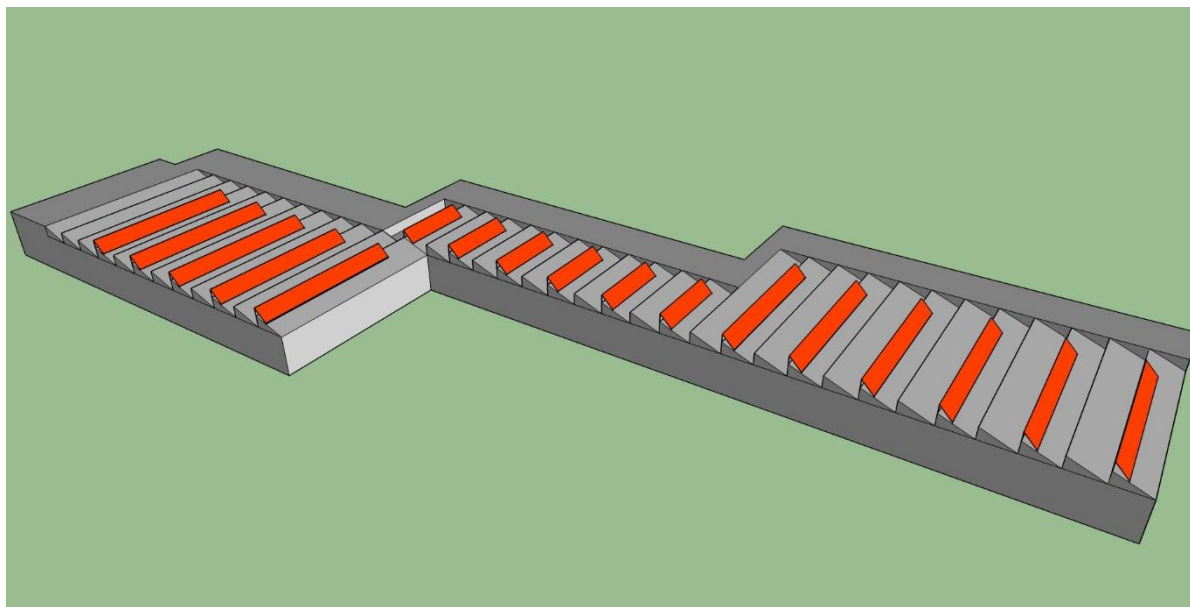
Obrázek 61: Stínění pro panely na konstrukci na každém světlíku dne 21.12

Připomeneme si také, že volíme možnost dvou panelů nad sebou v jedné řadě. Během nejkratšího dne v roce (21.12) dochází k výraznému zastínění řad vlivem umístění panelů na konstrukce. Na výše zobrazeném obrázku je situace v 11:00, ale během dne jsou řady zastíněny zhruba ve stejné míře. Dále si zobrazíme situaci v typickém zimním dnu (2.2) zase pro čas 11:00.



Obrázek 62: Stínění pro panely na konstrukci na každém světlíku dne 2.2

Bohužel i zde dochází k zastínění následujících řad panelů. V odpoledních hodinách sice stín ustupuje, ale pořád dochází k menšinovému zastínění. V období od začátku března do začátku listopadu sice ke stínění následujících řad nedochází, ale investice do systému, který bude sám sebe stínit se jeví jako nelogická.



Obrázek 63: Možnost 2 - umístění panelů

Je pravdou, že ke stínění následujících řad dochází v měsících, kdy je produkce elektriny z takto navrhnuté FVE menší než v měsících, kdy se řady navzájem nestíní, ale stejně využijeme pro následující výpočet varianty, kdy budou panely nainstalované na každém druhém světlíku. Naše druhá možnost FVE na střechy budov C1, C2 a C3 je zobrazena výše na obr. 62. Počty řad a celková využitelná plocha pro umístění panelů je tedy:

Počet dlouhých řad	11
Délka řady	30 m
Šířka řady	3,3 m

Počet krátkých řad	6
Délka řady	15 m
Šířka řady	3,3 m

Celková plocha **1386 m²**

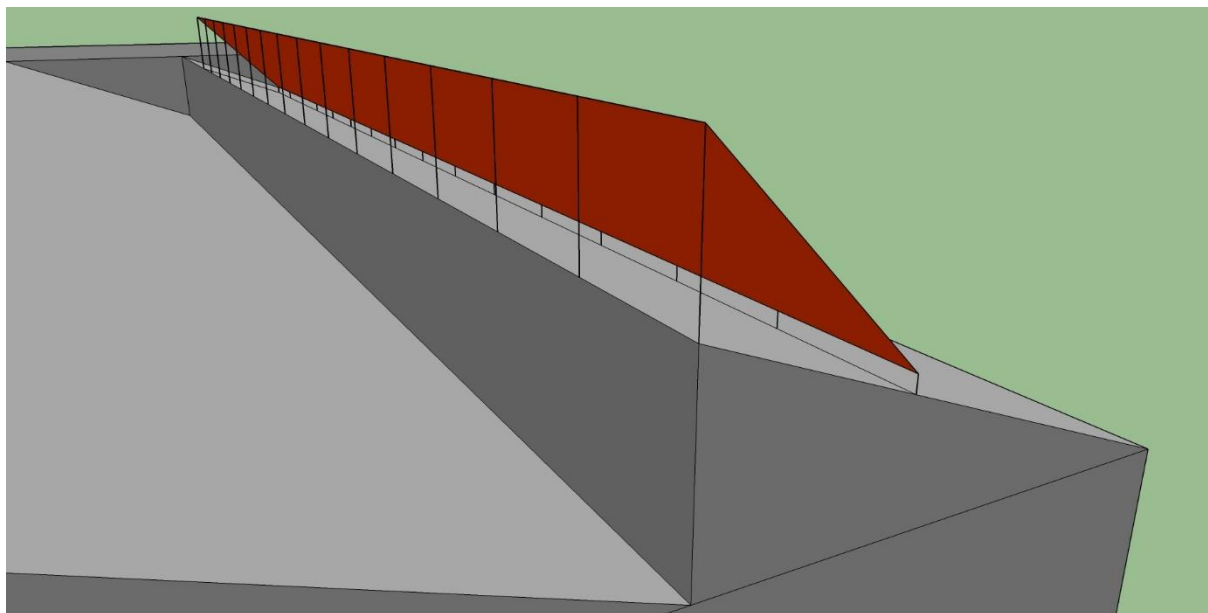
Výpočet parametrů a velikosti FVE:

Stejně jako v předchozím návrhu i zde volíme variantu 2 panelů umístěných nad sebou v jedné řadě. Díky sudému počtu krátkých řad můžeme do výpočtu opět předpokládat, že se jedná o další dlouhé řady, konkrétně 3 dlouhé řady. Tyto hodnoty doplníme do našeho výpočtového excelu a dostaneme následující parametry FVE:

Parametry solárního systému:	POLE 1
Globální záření na orientovanou plochu	1 177
Název FV panelu:	AC-250P/156-60S
Šířka panelu:	0,992 m
Délka panelu:	1,64 m
Počet panelů na šířku:	30 ks
Počet panelů na délku:	26 ks
Celá DÉLKA pole:	29,76 m
Celá VÝŠKA pole:	42,64 m
Účinná plocha 1 FV panelu:	1,46 m ²
Počet panelů:	780 ks
Celková účinná plocha:	1138,92 m²
Účinnost panelů	15,37%
Účinnost měniče	96,00%
Účinnost rozvodů	99%
Jmenovitý výkon 1 panelu	250 W _p
Jmenovitý výkon celkem	195000 W_p

Tabulka 22: Parametry solárního systému - možnost 2

Při návrhu instalace panelů po úhlem 45° a pouze na každý druhý světlík, aby nedocházelo ke stínění řad navzájem nám vychází FVE o celkovém instalovaném výkonu 195 kW_p. Můžeme si všimnout, že naše druhá možnost se skládá z polovičního počtu panelů (780 kusů vs 1590 kusů v první možnosti). Otázkou zůstává, jak na tom bude množství poměr vyprodukované elektřiny těchto dvou variant. Počet panelů je sice poloviční, ale zase sklon panelů je přívětivější a panely by měli pracovat s vyšší účinností.



Obrázek 64: Detail stojanu pro panely

Na výše uvedeném obrázku jsme si ukázali naše řešení stojanu pro panely. Počítáme s tím, že panely nebude ležet na světlíku, ale bude zde i u dolního konce mezera, která poskytne volné proudění vzduchu. Tato mezera je zde z důvodu, aby nedocházelo k rázům od proudícího vzduchu do vzniklých zadní strany panelů. Proudící vzduch nám také bude ochlazovat panely.

Bilance spotřeby elektřiny:

Vstupními parametry je množství elektřiny vyrobené FVE v jednotlivých měsících a měsíční spotřeba elektřiny areálu. Tyto hodnoty roznásobíme cenou za 1 kWh elektrické energie, která je v našem případě 1,75 Kč. Zde se ukáže, zda se vyplatí investovat do konstrukcí pro naklonění panelů do ideálního úhlu (45°). Očekáváme hodnotu zhruba poloviční oproti FVE v první možnosti, ale za splnění teoretických podmínek by produkce ideálně nakloněných panelů měla být vyšší než půlka z produkce panelů, které mají jiný než ideální sklon (v našem případě 21°).

	Produkce FV systému	Spotřeba elektřiny	Dodávka z DS	Úspora nákladů
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[Kč]
Leden	5146	384068	378922	9005
Únor	9662	379377	369715	16908
Březen	16477	398509	382032	28835
Duben	22028	358795	336767	38548
Květen	24794	376716	351922	43389
Červen	25351	397776	372425	44364
Červenec	27244	394172	366928	47676
Srpen	25003	382731	357728	43756
Září	17657	395377	377720	30900
Říjen	12553	412101	399548	21967
Listopad	5639	426821	421182	9868
Prosinec	4319	380501	376182	7558
Celkem	195872	4686944	4491072	342775

Tabulka 23: Bilance spotřeby elektřiny - možnost 2

Při této variantě nám FVE dodá za rok 195 872 kWh elektřiny což by fakultě ročně ušetřilo **342 775 Kč** za elektřinu.

V první možnosti jsme měli při instalovaném výkonu 397,5 kW_p (1590 panelů) roční produkci elektřiny v FVE 388 699 kWh. V druhé možnosti máme instalovaný výkon 195 kW_p (780 panelů) a roční produkci elektřiny v FVE 195 870 kWh. Pro srovnání produkce elektřiny v FVE o stejném instalovaném výkonu s ideálním sklonem (možnost 2) a s panely umístěnými na světlíku, který nemá ideální sklon (možnost 1) si provedeme ukázkovou kalkulaci. Pro zjednodušení si ukážeme jen celkovou roční výrobu elektřiny v FVE. Poznamenejme si, že předpokládáme nulové stínění za sebou umístěných řad. Jde nám jen o srovnání produkce elektřiny v závislosti na sklonu panelu.

	Produkce FV systému	
	[kWh]	
	Sklon 21°	Sklon 45°
Celkem	388699	399155

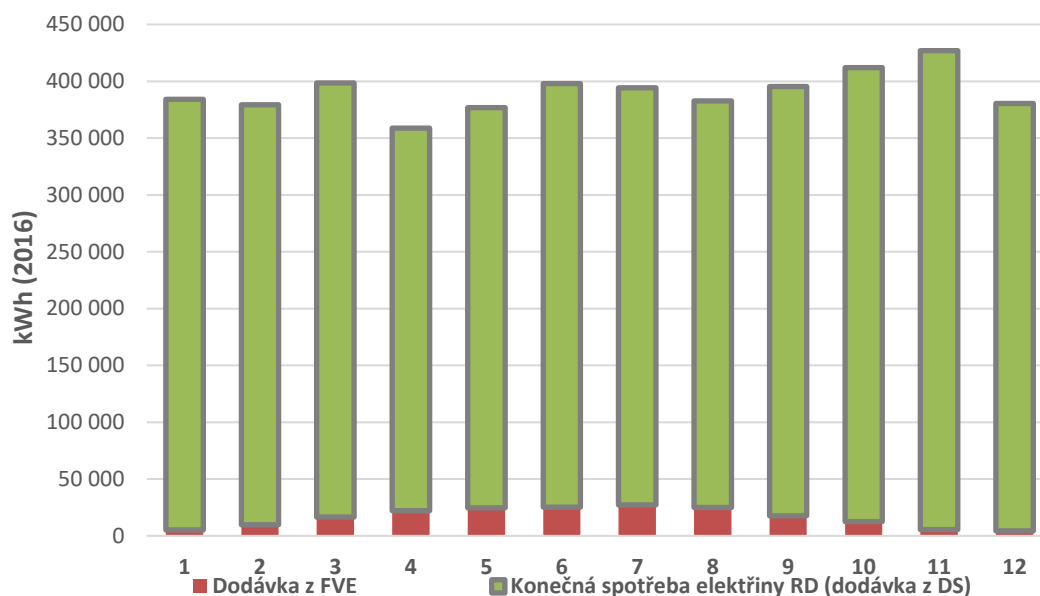
Tabulka 24: Srovnání produkce elektřiny v FVE o různém sklonu

Pro naše srovnání jsme si volili FVE o instalovaném výkonu 397,5 kW_p. Vidíme, že se vyrobí více elektřiny při optimální orientaci panelů. Konkrétně se jedná o nárůst ve výši 2,7%. Je nutné ale počítat s vyššími náklady na pořízení systému, která využívá stojany pro naklonění panelů do optimálního sklonu. Porovnání investice do pořízení těchto variant si provedeme dále.

Výsledky výpočtu		
Celková spotřeba elektrické energie	4 686 944	kWh
Celková využitelná produkce elektrické energie z FVE v budově	195 872	kWh
z toho: Využitá energie přímo z panelů do RD	195 872	kWh
Konečné množství elektrické energie dodané z DS	4 491 072	kWh
Procento využití celkové produkce FVE	100,0	%
Procento pokrytí vlastní spotřeby pomocí FVE	4,2	%

Tabulka 25: Výsledky výpočtu možnosti 2 FVE

Stejně jako v přechozí variantě i zde je splněn cíl, že má být přímo v areálu využito 100% z vyrobené elektřiny. Tato možnost, která počítá s ideálně skloněnými panely o celkovém instalovaném výkonu 195 kW_p nám poskytuje pokrytí 4,2% spotřeby elektřiny v areálu. Dále si zobrazíme pokrytí spotřeby elektřiny v jednotlivých měsících a poté si provedeme cenovou nabídku tohoto systému.



Obrázek 65: Balance spotřeby elektřiny a výroby FV - možnost 2

Cena FVE a návratnost investice:

Zde musíme uvažovat, že cena za stojany bude vyšší než cena za závěsný systém panelů. Provedeme si výpočet investice pro pořízení systému a také roční ekonomickou bilanci. Také si provedeme cenové srovnání na FVE o stejném instalovaném výkonu, ale jednou při použití závěsného systému a podruhé při použití stojanů pro naklonění panelů.

	ks	jednotková cena bez DPH [Kč]	Celkem [Kč]
panely	780	3980	3104400
stojan (pro 2 panely)	390	2600	1014000
měníč	2	780000	1560000
kabeláž, montáž a další	-	400000	400000
cena za 1 kWh _p			31 171
výše investice			6 078 400

Tabulka 26: Investiční náklady na pořízení FVE - možnost 2

Roční ekonomická bilance			
	Stávající stav	Navrhovaný stav	
Celková investice na pořízení FVE	---	6 078 400	Kč
Náklady na elektřinu	8 202 152	7 859 377	Kč
Úspora nákladů celkem	---	342 775	Kč
Prostá návratnost instalace FVE	---	17,7	roky

Tabulka 27: Návratnost investice do FVE - možnost 2

Kvůli použití stojanů se v tomto případě zvedla cena za 1 kWh_p a to až na 31 171 Kč. Tato hodnota už je celkem vysoká vzhledem k tomu, o jak veliký systém se jedná. Prostá návratnost investice je 17,7 roku za předpokladu, že ročně nám FVE ušetří 342 775 Kč na nákladech na elektřinu. Nyní si provedeme slibované srovnání investice do FVE o stejném instalovaném výkonu, ale za použití rozdílných metod usazení panelů.

	Použití závěsného systému			Použití stojanů	
		jednotková cena	celkem	jednotková cena	celkem
	ks	bez DPH [Kč]	[Kč]	bez DPH [Kč]	[Kč]
panely	1590	3980	6328200	3980	6328200
stojan (pro 2 panely)	795	1300	1033500	2600	2067000
měníč	4	780000	3120000	780000	3120000
kabeláž, montáž a další	-	800000	800000	800000	800000
cena za 1 kWh _p			28 382		30 982
výše investice			11 281 700		12 315 200
návratnost			16,6		17,6

Tabulka 28: Srovnání jednotlivých variant

Zde můžeme vidět, že se nevyplatí investovat do stojanů pro naklonění panelů do ideálního úhlu. Roční úspora bude sice větší, ale díky vyšší počáteční investici se nám prostá návratnost FVE zvýší o rovný rok. Můžeme tedy říct, že je výhodnější využít již daného sklonu od světlíků a nainstalovat panely jen na závěsný systém přímo na dané světlíky. Naše situace také umožňuje využití povrchů všech světlíků a tím také naší první maximalistické varianty.

5. Závěr

Cílem této práce bylo provést rozbor spotřeby energií areálu FSI před a po proběhlé rekonstrukci. Mělo se také zhodnotit přínos instalovaného fotovoltaického pole a kogenerační jednotky vzhledem k energetickému hospodaření areálu Technická 2. Další částí této diplomové práce bylo udělat návrh různých lokálních zdrojů elektřiny a tepla a jejich ekonomické zhodnocení.

Na začátek práce jsme si popsali princip kombinované výroby elektřiny a tepla a její výhody či nevýhody. Také jsme si ukázali různé druhy kombinované výroby elektřiny a tepla, uvedli jsme si jak průmyslové využití KVET, tak i pro menší instalace. Poté jsme si představili a popsali princip fotovoltaické výroby elektřiny. Popsali jsme si také jednotlivé části FV panelu a jejich funkci.

Dalším krokem bylo představení areálu FSI na adrese Technická 2 a jeho popis. Provedli jsme rozbor spotřeby jednotlivých energií v areálu před a po rekonstrukci, která zahrnovala kompletní rekonstrukci výškové budovy A1, zateplení všech budov areálu a také výměnu všech okenních výplní za moderní plastové. Po této rekonstrukci došlo k úspoře zhruba 30 % na nákladech na spotřebu tepla. Ukázali jsme si, že i v našem areálu došlo ke zvednutí spotřeby elektřiny, což odpovídá modernímu trendu, kdy se nároky na spotřebu elektřiny neustále zvyšují. Velkou roli v nárůstu spotřeby elektřiny hraje také fakt, že došlo k instalaci kompresorového chladicího systému do budovy A1 o celkovém příkonu 590 kW. Ukázali jsme si, že provoz chladicího zařízení, byť jen jedné ze dvou chladicích jednotek tvoří zhruba 8 % z celkové spotřeby elektřiny. Během kompletní přestavby budovy A1 došlo také k instalaci fotovoltaického pole, které je integrováno do jihovýchodní stěny budovy téměř po celé výšce a má instalovaný výkon 40 kW_p.

Po rozboru spotřeby energií jsme mohli začít s návrhy různých řešení lokálních zdrojů elektřiny a tepla. Jako první volbu jsme zvolili návrh nové kogenerační jednotky. Na začátek tohoto návrhu jsme zhodnotili přínos stávající kogenerační jednotky na rostlinný olej v areálu, která ale není ve vlastnictví fakulty. Za předpokladu, že by měla kogenerační jednotka vyrábět jen tolik elektřiny a tepla aby došlo k jejich kompletní spotřebě v areálu FSI. Naše volba tedy padla na jednotku Cento T200 od firmy TEDOM. Jak již napovídá název jednotka má elektrický výkon 200 kW a celková výše investice do pořízení této jednotky je 4 360 000 Kč bez DPH. Díky instalaci této jednotky by došlo v areálu k úspoře 20 % na nákladech za teplo, a 22 % na nákladech za elektřinu. Díky návrhu jednotky na provoz 3000 hodin ročně dojde ale k možnosti pobírání zelených bonusů od ERU na provoz KGJ. Díky těmto zeleným bonusům nám vychází prostá návratnost této investice 3,8 let. Díky takto krátké době prosté návratnosti se jeví instalace nové kogenerační jednotky do areálu jako výhodná.

Druhou variantou v naší práci je instalace fotovoltaické elektrárny na střechy budov C1, C2 a C3. Pro tento výpočet jsme využili výpočtového excelu, který nám byl poskytnut energetickou firmou. Pro ověření přesnosti tohoto výpočtu jsme využili fakt, že již je v provozu FVE na střeše C3 o instalovaném výkonu 20 kW_p. Při tomto ověření jsme zjistili,

že hodnoty produkce elektřiny FVE se v jednotlivých měsících liší (někdy méně, někdy více), ale v celkové roční produkci elektřiny se výpočet shodnul s realitou s odchylkou jen 2,7 %. Kvůli absenci dálkového měření FVE na budově A1 jsme prováděli odečty elektroměru za měsíc duben. Poté tyto hodnoty srovnali s hodnotami, které nám vypočítala internetová aplikace na stránkách „<http://re.jrc.ec.europa.eu>.“ Výsledky výpočtu se téměř shodovali s hodnotami z elektroměru, díky tomu jsme provedli odhad produkce elektřiny FVE na budově A1. Do budoucna by bylo jistě vhodné nainstalovat dálkové měření produkce elektřiny v této FVE.

Z důvodu umístění budov C1, C2 a C3 doprostřed areálu může docházet ke stínění od okolních budov. Pro ověření situací v jednotlivých ročních obdobích jsme si vyhotovili model areálu a simulovali si průběh slunce. Zjistili jsme, že střechy těchto budov jsou skutečně stíněny od budov A1, a T12, a to zejména v zimních měsících. Stínění je ale velice menšinové i v období, kdy je slunce níže na obloze. Ke stínění dochází i v letních měsících, ale jen v období těsně po východu slunce a také těsně před západem slunce. Dá se tedy předpokládat, že produkce takto umístěné FVE bude o něco nižší než výpočtová hodnota, ale netroufáme si odhadnout o kolik, protože ke stínění dochází v období, kdy intenzita dopadajícího slunce nedosahuje vysokých hodnot, a FVE tudíž nejede na plný výkon.

FVE jsme navrhovali ve dvou variantách, první byla maximalistická varianta, kdy se panely umístí na každý světlík, a panely budou na světlících položeny jen pomocí závěsného systému. To má za následek sklon panelů 21° což není optimální hodnota, ale zase investice do tohoto systému uchycení panelů bude nižší. Instalovaný výkon této možnosti FVE by byl 397,5 kW_p. Druhou variantou bylo umístění panelů na konstrukce, které naklonění panel do sklonu 45° za předpokladu, že takto nakloněná FVE bude pracovat s vyšší účinností. Po ověření stínění jsme ale došli k závěru, že při použití konstrukce pro naklonění panelů dojde ke stínění následujících řad panelů. Z tohoto důvodu jsme provedli návrh, kdy by se panely pokryl jen každý druhý světlík a instalovaný výkon by byl 195 kW_p. Po ekonomickém zhodnocení, kdy jsme vypočítali, že náklady na první maximalistickou možnost FVE jsou ve výši 28 382 Kč/kW_p instalovaného výkonu a pro druhou možnost o zhruba poloviční výkonu FVE jsou náklady na pořízení 30 982 Kč/kW_p. Prosté návratnosti investicí jsou pro první možnost 16,6 let a pro druhou možnost 17,6 let. Z těchto výsledků můžeme vyvodit, že výhodnější je provést instalaci FVE o vyšším výkonu i za cenu toho, že panely nejsou optimálně skloněné.

Seznam použitých zdrojů

Seznam literatury a zdrojů:

- [1] BUDÍN, Jan: Kogenerace - princip. *Oenergetice* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [2] Kogenerace - kombinovaná výroba elektřiny a tepla. *EkoWATT* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/upload/8d8404454da8be9d52d9234092c9d457/kogenerace_web.pdf
- [3] Kogenerace. *EkoWATT* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [4] VOBOŘIL, David: Fotovoltaické elektrárny. *Oenergetice* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [5] CLIVET: MDE-3 2.320. *BTK* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://www.btk.sk/docs/clivet/300-1600/new_mde-3_2_160-2600.pdf
- [6] Přehled kogeneračních jednotek TEDOM. *TEDOM* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-download.html>
- [7] Cenové rozhodnutí č. 2/2017. *ERU* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-2-20-1>
- [8] Historie společnosti. *TEPLÁRNY BRNO* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/historie>
- [9] Axitec 250Wp AC-250P/156-60S. RA - *Watt energetická s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.rawatt.cz/zbozi/59/axitec-250wp-ac-250p-156-60s>
- [10] Solární fotovoltaický měnič PowerGate Plus 100 kW. *Satcon* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://www.satcon.com/cze/pv_inverters/100kw.html
- [11] Performance of Grid-connected PV. *JRC* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Dále bylo použito podkladů poskytnutých fakultou, a to konkrétně faktury za energie a průkazy energetické náročnosti budov od firmy Energo-dialog.

Seznam zdrojů obrázků

- [1] Kogenerace - kombinovaná výroba elektřiny a tepla. *EkoWATT* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/upload/8d8404454da8be9d52d9234092c9d457/kogenerace_web.pdf

- [2] *Schéma kogenerace se spalovací turbínou* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://docplayer.cz/docs-images/42/7383169/images/page_13.jpg
- [3] Kogenerace s protitlakou parní turbínou. *Oenergetice* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [4] Kogenerace s kondenzační parní turbínou. *Oenergetice* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [5] Kogenerace s paroplynovým cyklem. *Energyweb* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.energyweb.cz/web/EE/images/tepl2-6a.gif>
- [6] Kogenerace se spalovacím motorem. *EkoWATT* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [7] Fotovoltaický článek. *Oenergetice* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [8] Konstrukce fotovoltaického článku. *Cne* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://www.cne.cz/data/editor/27cs_9_big.jpg
- [9] Mapa areálu FSI. *FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.fme.vutbr.cz/planek/>
- [10] Cento T200. *TEDOM* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [11] Sluneční záření v ČR. *Isofenenergy* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://www.isofenenergy.cz/img/rocní_uhrn.png
- [12] Axitec 250Wp AC-250P/156-60S. RA - *Watt energetická s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.rawatt.cz/zbozi/59/axitec-250wp-ac-250p-156-60s>
- [13] Solární fotovoltaický měnič PowerGate Plus 100 kW. *Satcon* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: http://www.satcon.com/cze/pv_inverters/100kw.html
- [14] Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>

Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Jednotka	Název
KVET	-	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
FSI	-	FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
VUT	-	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
P_{el}	kW	Elektrický výkon
Q_{max}	kW	Maximální tepelný výkon
KGJ	-	Kogenerační jednotka
η_{el}	%	Elektrická účinnost
η_{tep}	%	Tepelná účinnost
η	%	Celková účinnost
m_{pal}	m^3/hod	Spotřeba plynu
$Q_{měsíc}$	GJ	Teplo vyrobené za měsíc
$E_{měsíc}$	GJ	Elektřina vyrobená za měsíc
OZE	-	Obnovitelné zdroje energie
FVE	-	Fotovoltaická elektrárna
FV	-	Fotovoltaika
RD	-	Rodinný dům
DS	-	Distribuční síť